



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

SIMO NYKÄNEN

TIETOMALLIPOHJAINEN SILLAN KORJAUSSUUNNITTELU JA  
LÄHTÖTIETOJEN KOKOAMINEN

Diplomityö

Tarkastajat:

Professori Anssi Laaksonen

Dosentti Mauri Laasonen

Tarkastajat ja aihe hyväksytty  
talouden ja rakentamisen tiedekun-  
nan kokouksessa 8. lokakuuta 2014

## TIIVISTELMÄ

TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO

Rakennustekniikan koulutusohjelma

**NYKÄNEN, SIMO:** Tietomallipohjainen sillan korjaussuunnittelu ja lähtötietojen kokoaminen

Diplomityö, 103 sivua, 22 liitesivua

Maaliskuu 2015

Pääaine: Rakennesuunnittelu

Tarkastaja: professori Anssi Laaksonen ja dosentti Mauri Laasonen

Avainsanat: Tietomalli, siltojen ylläpito, korjaussuunnittelu, erikoistarkastus

Olemassa olevia väyliä parannetaan ja muutetaan, ja lisäksi siltojen kuormitustaso muuttuu. Nämä tekijät aiheuttavat nykyisille silloille toiminnallisia puutteita, joita on tarve poistaa korjaamalla. Lisäksi Suomen silloista yhä suurempi siltajoukko on tullut peruskorjausikään. Näin ollen tarve tehokkaalle siltojen korjaussuunnittelulle on olemassa. Tähän tarpeeseen pyritään vastaamaan tietomallipohjaisella suunnittelulla. Tietomallintaminen siltojen suunnittelussa on kuitenkin keskittynyt vahvasti uudissuunnitteluun.

Tämän diplomityön tarkoituksena on perehtyä tietomallintamista käsittelevään ohjeistukseen korjaussuunnittelun näkökulmasta ja koota huomioita ohjeista. Lisäksi toteutetaan sillan korjaussuunnitteluprojekti. Projektin aikana toteutetaan sillan erikoistarkastus ja laaditaan siihen pohjautuva korjaussuunnitelma. Diplomityössä tutkitaan, kuinka käytännön projekti voidaan toteuttaa tietomallipohjaisesti, tietomallintamista koskevan ohjeistuksen mukaisesti ja kootaan projektin aikana tehtäviä havaintoja. Lisäksi tutkitaan, voidaanko tietomallintamalla laatia tietosisällöltään nykyisiä vaatimuksia vastaava korjaussuunnitelma.

Tutkimus jakautuu kahteen osaan. Ensimmäisessä osassa perehdytään tutkimuksen taustateoriaan kirjallisuustutkimuksen avulla. Taustateoria käsittelee Suomen siltakantaa ja sen ylläpitoa, tietomallintamista sekä lähtötietojen tuottamista olemassa olevasta rakenteesta. Tutkimuksen toisessa vaiheessa on toteutettu käytännön kohteen erikoistarkastus ja korjaussuunnittelu. Erikoistarkastuksen yhteydessä koottiin tietoa sillan kunnosta, laserkeilattiin siltapaikka mittatietojen hankkimiseksi ja siltatutkattiin sillan kansi. Erikoistarkastuksen tiedoista koottiin lähtötietomalli, jota käytettiin pohjana varsinaisen korjaussuunnitelmamallin laatimiseksi.

Tutkimuksen tuloksena saatiin käsitys tietomallipohjaisen korjaussuunnitteluprosessin toteuttamisesta ja siihen liittyvistä haasteista. Lisäksi tutkimuksen tuloksena arvioitiin siltojen tietomallintamista koskevaa ohjeistusta. Tärkeänä havaintona voidaan pitää tietomallintamisen toimintatapojen vaativan vielä kehitystä. Ohjeistusta ja työkaluja ohjeiden vaatimusten toteuttamiseksi on kehitettävä edelleen. Lisäksi tutkimuksen tuloksena voidaan todeta tietomallipohjaisen suunnitelman vastaavan tietosisällöltään perinteistä suunnitelmapiirustusta. Tosin tietomallipohjaisen suunnitelmapiirustuksen toteuttaminen vaatii vielä paljon manuaalista työtä, jotta sen tietosisältö vastaa nykyisen käytännön mukaista korjaussuunnitelmaa.

## ABSTRACT

TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

Master's Degree Programme in Civil Engineering

**NYKÄNEN, SIMO:** Information modelling on bridge rehabilitation designing and initial data gathering

Master of Science Thesis, 103 pages, 22 Appendix pages

March 2015

Major: Structural Design

Examiners: Professor Anssi Laaksonen, Adjunct Professor Mauri Laasonen

Keywords: BIM, Building Information model, rehabilitation designing, special inspection

Roads are being upgraded, changed and bridges' stress levels are changing. These factors cause weaknesses in bridges' functionality. More and more of Finnish bridges are reaching the age where they need complete renovation. Hence, the need for efficient bridge rehabilitation planning is undeniable. Building information modelling-based design attempts to answer this need. Still, BIM is mainly used in designing new buildings and bridges.

This thesis aims to collect observations of Finnish BIM guidelines on bridge rehabilitation and execute a bridge rehabilitation planning project. During the rehabilitation planning project, special inspection is done on a case study bridge. Bridge rehabilitation plans are made according to the special inspection results. This thesis studies how a practical project can be done using BIM, according to BIM guidelines. It also studies if BIM based rehabilitation plans can have information content that answers the terms that are given in BIM guidelines.

The research is divided in two parts. The background theory that is introduced in the first part is based on literature study. The background theory introduces Finnish bridges and their maintenance, basics of building information modelling and how to produce initial data from existing bridge structures. The second part analyses the special inspection and rehabilitation planning of the case study bridge. During the special inspection initial data is collected. The condition of the bridge is estimated, the bridge is laser scanned and studied with ground penetrating radar. This data is collected into an initial data model. The rehabilitation plan model is based on the initial data model.

This study reviews the execution of a BIM based rehabilitation planning process and presents the challenges therein. BIM guidelines are also evaluated as a result of this study. A major observation is that BIM based procedures need to be developed. According to this study the content of BIM based rehabilitation plans is similar to that of traditionally produced plans. However, manual work is still needed to produce BIM based rehabilitation plans.

## ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty opinnäytteenä Tampereen teknillisen yliopiston rakennustekniikan laitokselle diplomi-insinöörin tutkintoa varten. Diplomityö on tehty A-Insinöörit Suunnittelu Oy: toimeksiannosta ja työtä ovat rahoittaneet Liikennevirasto ja Helsingin kaupungin rakennusvirasto. Työtä on ohjannut ohjausryhmä, johon kuuluvat Anssi Laaksonen (A-Insinöörit Suunnittelu Oy), Markku Äijälä (A-Insinöörit Suunnittelu Oy), Mauri Laasonen (Tampereen teknillinen yliopisto), Timo Tirkkonen (Liikennevirasto), Heikki Myllymäki (Liikennevirasto) ja Eero Sihvonen (Helsingin kaupungin rakennusvirasto). Työn tarkastajina toimivat professori Anssi Laaksonen ja dosentti Mauri Laasonen.

Kiitän diplomityön mahdollistaneita ja mukana työn toteutuksessa olleita osapuolia. Kiitos mahdollisuudesta perehtyä uuteen ja ihmeelliseen aihepiiriin, joka varmasti tulee palvelemaan korjaussuunnittelun tarpeita tulevaisuudessa. Kiitos kuuluu myös A-Insinöörien työtovereille, joiden kommentit ja neuvot työn aikana, ovat olleet erityisen arvokkaita.

Erityiskiitos perheelle, joka on jaksanut seurata taivallustani ja kannustaa eteenpäin jo hieman pitkäksi venyneellä opintiellä.

Tampereella 12.2.2015



Simo Nykänen

# SISÄLLYS

1	JOHDANTO .....	1
1.1	Tutkimuksen tausta.....	1
1.2	Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset.....	1
1.3	Tutkimuksen suorittaminen .....	2
1.4	Tutkimuksen sisältö.....	3
2	TEOREETTINEN TAUSTA.....	4
2.1	Suomen sillat ja niiden ylläpito elinkaaren aikana.....	4
2.1.1	Suomen sillat .....	4
2.1.2	Sillan elinkaari.....	8
2.1.3	Tarkastusjärjestelmä .....	10
2.1.4	Taitorakenteiden hallintajärjestelmä.....	14
2.1.5	Siltojen korjaaminen.....	16
2.1.6	Korjaussuunnittelu.....	18
2.2	Tietomallintaminen.....	20
2.2.1	Tietomallintamisen perusteet .....	20
2.2.2	Tietomallin tietosisältö ja rakenne.....	21
2.2.3	Tiedon siirto osapuolten välillä .....	23
2.2.4	Tietomalliselostus.....	24
2.3	Sillan tietomallin muodostaminen.....	25
2.3.1	Nykytilamalli.....	26
2.3.2	Liittyvät tekniikkalajit.....	28
2.3.3	Edellisen suunnitteluvaiheen aineisto .....	28
2.3.4	Korjaussuunnittelun lähtötiedot .....	28
2.3.5	Tuotemalli eli korjaussuunnitelmamalli .....	29
2.3.6	Yhdistelmämalli .....	30
2.3.7	Ylläpitomalli .....	31
2.3.8	Tietomalliselostus.....	32
2.4	Lähtötietoaineiston tuottaminen olemassa olevasta rakenteesta.....	33
2.4.1	Lähtötiedot toimenpiteittäin.....	33
2.4.2	Laserkeilaus.....	35
2.4.3	Vedenalaisten rakenteiden kunnon selvittäminen .....	38
2.4.4	Maa- ja siltatutkaus.....	42
2.4.5	Muut tavat tuottaa lähtötietoja.....	45
3	TUTKIMUKSEN TOTEUTUS .....	47
3.1	Tutkimusmenetelmän valinta .....	47
3.2	Tutkimuksen case-kohteen esittely .....	48
3.3	Sillan korjaussuunnitteluprosessin eteneminen.....	49
3.3.1	Sillan suunnittelun eteneminen uudiskohteessa .....	50
3.3.2	Tietomallintamisen eteneminen sillankorjaushankkeessa .....	51
3.3.3	Tietomalliohjeiden soveltaminen korjaushankkeeseen sopivaksi .....	53

3.4	Erikoistarkastus .....	58
3.4.1	Sillan ja siltapaikan geometrian selvittäminen.....	58
3.4.2	Rakenteen kunnan tutkiminen.....	61
3.4.3	Muiden lähtötietojen kokoaminen.....	63
3.4.4	Lähtötietomallin kokoaminen .....	64
3.5	Korjaussuunnittelu.....	67
3.5.1	Korjausmenetelmien valinta.....	67
3.5.2	Korjaussuunnitelmamallin organisointi.....	68
3.5.3	Korjaustöiden mallintaminen .....	69
3.5.4	Korjauspiirustusten tuottaminen.....	71
4	TULOKSET JA HAVAINNOT .....	72
4.1	Tietomallintamisen nykytila Suomalaisessa infrarakentamisessa .....	72
4.2	Tietomallin tekninen toteutus.....	75
4.2.1	Rakenteen geometrian mallintaminen .....	75
4.2.2	Rakenteen kuntotietojen mallintaminen .....	83
4.2.3	Liittyvien tekniikkalajien lähtötietojen mallintaminen.....	83
4.2.4	Suunnitelmapiiirustusten tuottaminen .....	85
4.3	Tietomallin sisällön arviointi .....	86
4.3.1	Tietomallin sisältö .....	86
4.3.2	Suunnitelmapiiirustusten sisältö .....	88
4.3.3	Suunnitteluprosessi.....	89
4.4	Tietomallintamista koskevan ohjeistuksen arviointi .....	90
4.4.1	Inframallin vaatimukset ja ohjeet, Lähtötiedot .....	90
4.4.2	Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje.....	91
4.4.3	Siltojen tietomalliohje ja taitorakenteiden tietomallinnusohje.....	92
5	YHTEENVETO.....	94
5.1	Yleistä .....	94
5.2	Tutkimuksen havainnot .....	95
5.3	Jatkokehityksen tarve .....	97
	LÄHTEET .....	99

LIITE 1: Korjaussuunnitelmamallin tietomalliselostus

LIITE 2: Lähtöaineistoluettelo

LIITE 3: Korjaussuunnitelmien sisällön vertailutaulukko

LIITE 4: Suunnitelmapiiirustukset

## TERMIT JA NIIDEN MÄÄRITELMÄT

BIM	Building Information Model, rakenteen tai rakennuksen tietomalli (ks. tietomalli)
Class	Objektien luokitteluun käytettävä numerointi. Esimerkiksi sillan tietomallissa jokaisella rakenneosalla on oma class-numeronsa
dwg-tiedosto	Muun muassa AutoCAD-ohjelmiston tuottama tiedostomuoto. Sisältää kaksi- tai kolmiulotteisiin viivoihin perustuvaa tietoa
IFC	Industry Foundation Classes, kansainvälinen tietomallin kolmiulotteisen geometrian ja parametrien ohjelmistoriippumaton tiedonsiirtoformaatti. Siirtää ainoastaan oliopohjaista eli edellä mainittua tietoa
InfraModel (IM)	Mallipohjaisten infra-alan tietojen siirtoon kehitetty avoin LandXML-pohjainen tietomäärittely
LandXML	Yleisesti maanrakennuksessa käytetty XML-pohjainen määrittely infra- ja maanmittaustiedoille
Lähtötietomalli	Sillan nykytilaa ja suunnittelun lähtötietoja kuvaava tietomalli
Natiivimalli	Tietomalli esitettynä sen luomiseen käytetyn ohjelmiston tallennusmuodossa
Natiivimuoto	Tietomallin mallintamiseen käytetyn ohjelmiston tallennusmuoto
Objekti	Tietomallin sisältämä yksittäinen kappale, perusyksikkö. Tekla Structures käyttää myös nimitystä part eli osa
Phase	Tekla Structuresin ominaisuus, jolla voidaan ryhmitellä useita objekteja eri objektiluokista samaan kokonaisuuteen. Käytetään esimerkiksi rakenteen eri lohkojen kuvaamiseen
pts-tiedosto	Tiedostomuoto, joka sisältää kolmiulotteista pistetietoa, esimerkiksi mittapisteitä
Referenssi	Tietomallin yhteydessä tarkoittaa ohjelmaan tuotua viitetiedostoa tai -mallia, esimerkiksi toisesta ohjelmistosta tuotua maastomallia
Siltarekisteri	Tietokanta, johon Suomen siltojen perustiedot, vauriot ja kuntotiedot on tallennettu
Suskeptibiliteetti	Suure kuvaa, kuinka helposti materiaali polarisoituu sähkökentässä
Taitorakenne	Rakenteet, joiden rakentaminen edellyttää lujuuslaskentaan perustuvat suunnitelmat
Tekla Structures	Ohjelmisto, jota käytetään kolmiulotteiseen tietomallintamiseen. Tutkimuksessa käytetään myös lyhennettä TS

tiff-tiedosto	Kuvien tallennukseen käytettävä tiedostomuoto
Tietomalli	Yleisnimitys rakennuksen tai rakenteen digitaalisessa muodossa olevalle mallille, johon rakenteisiin liittyviä tietoja tallennetaan
Tuotemalli	Sillan suunnitelmaa kuvaava digitaalinen malli. Kuvaava sillan geometrian, rakenteet ja materiaalit
UDA	User-Defined Attributes. Käyttäjän määrittämiä attribuuttitietoja. Esimerkiksi objektiin liitettyä, sen ominaisuuksista, kertovaa tietoa
Yhdistelmämalli	Infrarakenteen mallipohjainen kuvaus. Yhdistelmä usean tekniikkalajin tietomalleista
XML	Extensible Markup Language. Merkintäkieli, jota käytetään tiedonsiirtoon järjestelmien välillä



# 1 JOHDANTO

## 1.1 Tutkimuksen tausta

Diplomityö liittyy Liikenneviraston laajempaan tietomallintamista käsittelevään kokonaisuuteen, jolla on selvitetty tietomallintamisen käyttämistä taitorakenteiden suunnittelussa. Aiemmin laaditun tutkimuksen perusteella on julkaistu muun muassa Siltojen 3D-suunnittelu- ja mittausprosessin kehittäminen ja käyttöönottoaminen (Älykäs silta) [1] ja Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-SILTA) [2]. Tehty tutkimus tietomallintamisesta keskittyy lähinnä uudisrakentamiseen. Tehdyn tutkimuksen perusteella Liikennevirasto on julkaissut tietomallintamiseen liittyviä ohjeita, kuten Siltojen tietomalliohjeen [3] ja diplomityön kirjoittamisen aikana julkaistun Taitorakenteiden lähtötieto-ohjeen [4].

Infra-ala on valmistelemassa laajempaa yleistä tietomalliohjeistusta mm. Infra FINBIM ja InfraTM -hankkeissa. Valmistelutyön lopputuloksena ollaan julkaisemassa Yleisiä inframallivaatimuksia, YIV 2014 [5]. Lisäksi suurimmat toimijat ovat julkaisseet omia mallintamiseen liittyviä ohjeitaan. Esimerkkinä Helsingin kaupungin julkaisu Suunnitteluohje, Taitorakenteiden tietomallinnusohje [6].

Tietomallintaminen on suhteellisen uusi tapa koota sillan suunnittelussa tuotettavia dokumentteja yhteen paikkaan, tietomalliksi. Siltojen korjaussuunnittelua ei ole juurikaan tehty tietomallintamalla. On siis hankittava käytännön kokemuksia myös tietomallipohjaisesta korjaussuunnittelusta, jotta uudet sovellukset saadaan suunnittelijoiden arkikäyttöön. Korjausrakentamisen volyymi tulee tulevaisuudessa kasvamaan siltakannan suuren ikäluokan saavutettua peruskorjauksiin. Suuren siltajoukon korjaamisen hallitsemiseen ja tehokkaaseen toteuttamiseen on syytä hakea ratkaisuja myös uutta käytettävissä olevaa tekniikkaa hyödyntäen. Hyödyntämällä tietomallintamista saadaan moninaiset lähtötiedot koottua lähtötietomalliksi, jolloin tieto on koottu yhteen paikkaan ja mahdollisimman hyvin harmonisoituna tietomallien käytettävissä. Sillan tuotemallin, korjauskohteen yhteydessä sillan korjaussuunnitelmamallin ja siltapaikan yhdistelmämallin avulla koko sillan ja sen lähiympäristön suunnitelmien käyttäminen ovat käytettävissä muun muassa myöhempiä rakenteen ylläpitoa varten ylläpitomallin muodossa.

## 1.2 Tutkimuksen tavoitteet ja rajaukset

Tutkimuksen tavoitteena on vastata tutkimuskysymykseen ”Voidaanko tietomallintamalla luoda tietosisällöltään perinteistä korjaussuunnitelmaa vastaava korjaussuunnitelma, noudattaen nykyisiä siltojen tietomallinnusta koskevia ohjeita?” Tavoitteena on

viedä läpi tietomallipohjaisesti sillan korjaussuunnitteluprosessi aina erikoistarkastuksesta valmiiseen sillan korjaussuunnitelmaan tutkimalla esimerkkikohdetta. Erikoistarkastuksen aikana tuotetaan ja kootaan lähtötietoaineistoa, josta muodostetaan korjaussuunnittelun lähtötietomalli. Lähtötietomallin ja erikoistarkastuksen tuottamien lähtötietojen perusteella toteutetaan sillan peruskorjauksen korjaussuunnittelu. Korjaussuunnittelun lopputuotteena syntyy osa sillan peruskorjauksen toteutukseen tarvittavia kaupallisia ja teknisiä suunnitelma-asiakirjoista. Tutkimuksen yhteydessä luotavasta tietomallista tuotetaan suunnitelmapiirustukset. Tutkimuksen perusteella syntyy käsitys kuinka perinteisen korjaussuunnitelman tuottama tietosisältö saadaan sisällytettyä tietomallipohjaiseen suunnitelmaan.

Tavoitteena on lisäksi koota havaintoja ja kommentteja tietomallipohjaisen suunnittelun ohjeista käytännön suunnittelutyön edetessä. Diplomityössä kerätään käytännön kokemusta tietomallintamisen käytöstä siltojen korjaussuunnittelussa ja pilotoidaan siltojen korjaussuunnittelun näkökulmasta uusia tietomalliohjeita, joita Liikennevirasto, Helsingin kaupungin rakennusvirasto ja InfraBIM ovat laatineet. Pilotoitavaan ohjeistukseen saadaan työn myötä kehitysideoita korjaussuunnittelun huomioimiseksi, perustuen yksittäisen case-kohteen avulla tehtyihin havaintoihin.

Tutkimus on rajattu käsittelemään suomalaista siltakantaa ja tietomallintamisen ohjeissa kuvattua käytäntöä toteuttaa korjaushanke tietomallintamalla. Tutkimuksessa käsitellään case-kohteena toimivan sillan erikoistarkastusta ja siihen pohjautuvaa tietomallipohjaista korjaussuunnittelua sekä lähtötietoja koskevaa ohjeistusta. Tutkimuksessa käytettävä mallinnusohjelma on Tekla Structures 20.0.

### 1.3 Tutkimuksen suorittaminen

Tutkimuksen suorittaminen jakautui kahteen vaiheeseen. Taustateoria silloista ja niiden ylläpidosta, tietomallintamisesta sekä lähtötietojen hankkimisesta selvitettiin kirjallisuusselvityksen avulla. Taustateoriassa käsiteltiin sekä siltojen ylläpitoa että tietomallintamista. Näin saadaan luotua tietomallintamiseen ja siltojen korjaussuunnitteluun perehtyneille käsitys siitä, mitä eri osapuolet tekevät. Varsinaista tutkimuskysymystä lähestyttiin tapaustutkimuksen avulla. Tapaustutkimuksessa tarkasteltiin case-kohteen suunnittelun etenemistä ja lopputuotetta, tietomallipohjaista korjaussuunnitelmaa.

Tietomallintamisen, mallin lähtötietoaineiston kokoamiseen käytettävien tekniikoiden ja siltojen korjausrakentamisen taustateoria selvitettiin diplomityössä kirjallisuusselvityksen avulla. Tapaustutkimuksella tarkasteltiin tietomallipohjaista korjaussuunnitteluprosessia, joka pitää sisällään esimerkkikohteen erikoistarkastuksen ja siihen pohjautuvan peruskorjauksen korjaussuunnittelun. Case-siltana toimii Helsingin kaupungin rakennusviraston hallinnoima Paciuksenkadun silta Helsingistä. Korjaussuunnitteluprosessi jakautuu kohteena olevan sillan erikoistarkastukseen ja korjaussuunnitteluun.

Erikoistarkastusvaiheessa luotiin ohjeiden mukainen sillan lähtötietomalli ja pilotoitiin uusimpia tietomalli- ja lähtötieto-ohjeita. Lähtötietomallin luomiseksi siltapaikan rakenteita kartoitettiin laserkeilaamalla, siltatutkaamalla, kaikuluotaamalla ja perinteisen

erikoistarkastuksen avulla. Eri tutkimusmenetelmillä koottu lähtötieto harmonisoitiin ja koottiin lähtötietomalliksi. Erikoistarkastuksen avulla tuotettiin sillasta lähtötietomalli, johon koottiin sillan nykytilaa kuvaava nykytilamalli, sillan edellisten korjausten tiedot ja erikoistarkastuksen havainnot. Lähtötietomalli toimii perustana sillan korjaussuunnittelulle.

Korjaussuunnitteluvaiheessa korjaussuunnitelmat tuotettiin lähtötietomallin ja erikoistarkastuksen yhteydessä tehtyjen havaintojen perusteella tietomallipohjaisesti sillan tuotemalliksi eli korjaussuunnitelmamalliksi. Korjaussuunnitelmamallin avulla esitettiin sillalle toteutettavat korjaustoimenpiteet.

## 1.4 Tutkimuksen sisältö

Luvussa 2 käsitellään tutkimuksen teoreettista taustaa kirjallisuuslähteiden perusteella. Luku jakautuu neljään erilliseen asiakokonaisuuteen, joita on käsitelty omina alalukuihin. Luvussa esitellään ensimmäisenä Suomen siltakantaa, siltojen elinkaaren hallintaa ja siltojen korjausrakentamista. Alaluku antaa käsityksen Suomen siltakannasta ja sen ylläpitoon liittyvistä toimintatavoista. Seuraavassa alaluvussa käsitellään tietomallintamista ja tietomallin muodostamista olemassa olevasta siltarakenteesta sekä luodaan katsaus tietomallintamisen nykytilaan ja alalla aiemmin tehtyyn tutkimukseen. Kolmannessa alaluvussa käsitellään tietomallin muodostamista ja tietomallin rakennetta. Alaluvussa muodostetaan käsitys tietomallin muodostamisesta tietomallintamista koskevan ohjeistuksen perusteella. Neljännessä alaluvussa käsitellään tekniikoita, joilla olemassa olevasta siltarakenteesta hankitaan lähtötietoaineistoa erikoistarkastusvaiheessa. Alaluvussa käsitellään perusteet käytettävissä olevista tekniikoista, joita on hyödynnetty tämän tutkimuksen toteuttamisessa.

Luvussa 3 esitellään kuinka tutkimus on toteutettu. Luvussa perustellaan tutkimusmenetelmän valinta ja esitellään tutkimuksessa case-kohteena käytetty silta. Luvussa esitellään sillan korjaussuunnitteluprosessin eteneminen tietomallipohjaisesti. Korjaussuunnitelman laatimiseksi läpi käytävä prosessi on koostettu tietomallintamista koskevasta ohjeistuksesta ja sitä on täydennetty kuvaamaan korjaussuunnittelun tarpeita. Lisäksi luvussa käsitellään erikoistarkastus- ja korjaussuunnitteluvaiheissa tehdyt toimenpiteet sekä niiden aikana tuotettua aineistoa.

Luvussa 4 esitellään tutkimuksen tulokset. Tulokset koostuvat erikoistarkastus- ja korjaussuunnitteluvaiheissa case-kohteesta tehdyistä havainnoista. Nämä havainnot on koottu alalukuihin, joissa käsitellään tietomallin teknistä toteutusta ja arvioidaan tietomallin sisältöä. Lisäksi arvioidaan tietomallintamista koskevaa ohjeistusta, jota pilotoitiin ja käytettiin tutkimuksen aikana tehdyn tietomallinnuksen perustana.

Luvussa 5 on esitetty yhteenveto keskeisimmistä havainnoista ja johtopäätökset, joihin on tutkimuksen perusteella päädytty. Lisäksi esitetään tämän tutkimuksen perusteella syntyneet jatkotutkimustarpeet.

## 2 TEOREETTINEN TAUSTA

Tutkimuksen teoreettinen tausta käsittelee laajasti Suomen siltakantaa ja niiden ylläpitoa, tietomallintamista, tietomallin muodostamista ja erilaisia teknisiä ratkaisuja olemassa olevan rakenteen kartoittamiseksi. Teoreettinen tausta jakautuu edellä mainittuihin aihekokonaisuuksiin. Laajan taustateoria tarkoituksena on antaa käsitys siltojen ylläpidon parissa työskenteleville henkilöille tietomallintamisesta ja toisaalta tietomallintamisen parissa työskenteleville henkilöille siltojen ylläpitoon liittyviä erityispiirteistä ja toimintatavoista.

### 2.1 Suomen sillat ja niiden ylläpito elinkaaren aikana

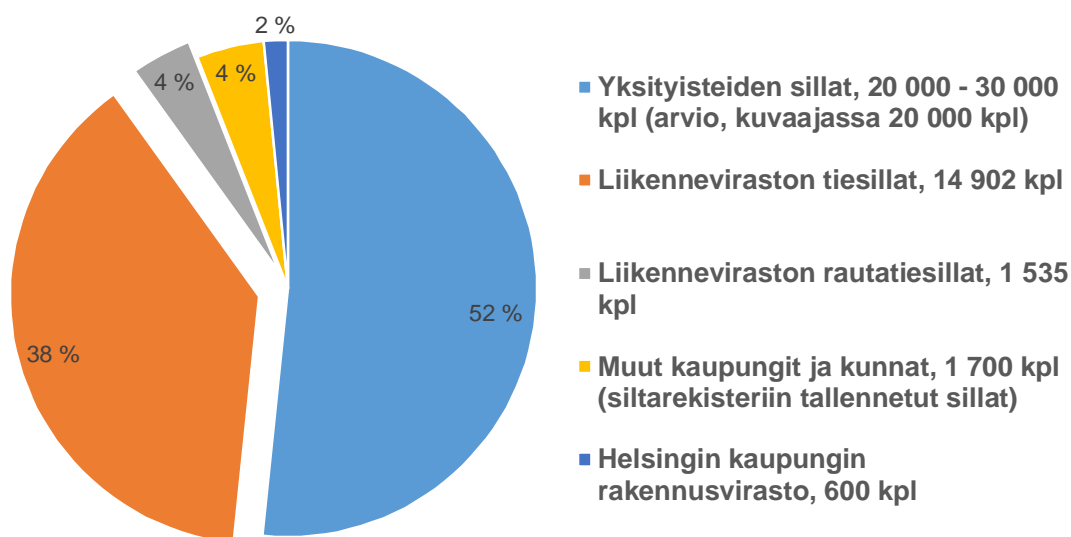
Luvussa 2.1 esitellään Suomen siltoja eli korjausrakentamisen kohteena oleva siltakanta. Käydään läpi sillan elinkaari ja siltojen tarkastusjärjestelmä, jolla siltakannan kunnon kehitymistä seurataan sillan käyttöiän aikana. Lisäksi käsitellään siltakannan kuntotietojen hallintajärjestelmää sekä siltojen korjaamista.

Kappaleen tarkoituksena on antaa käsitys korjattavan siltakannan laajuudesta sekä toimintatavoista, joita siltojen ylläpitoon sillan elinkaaren aikana liittyy.

#### 2.1.1 Suomen sillat

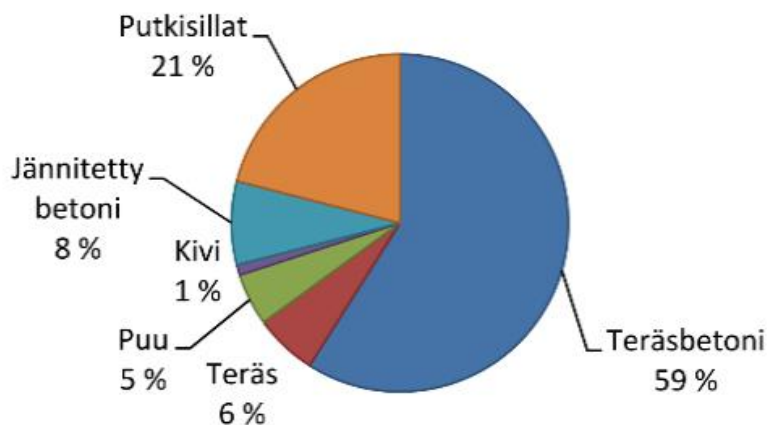
Suomessa on arviolta yli 40 000 siltaa. Kokonaismäärää ei voida tarkasti ilmoittaa, koska kaikkia siltoja ei ole tilastoitu. Tarkasti tilastoituja siltoja on yli 20 000 kappaletta. Silloista Liikennevirasto hallinnoi yleisen tieverkon tiesiltoja ja rautatieverkon rautatiesiltoja. Liikenneviraston hallinnoimat tiesillat muodostavat merkittävimmän osan Suomen silloista. Tiesiltoja on noin 14 900 kappaletta (vuonna 2013), luvussa on mukana myös putkisillat, joita on noin 3 200 kappaletta [7, s. 49]. Siltarekisterin mukaan rautatiesiltoja on 1 535 kappaletta (vuoden 2015 alussa) [8]. Lisäksi siltajoukkoon kuuluvat kaupunkien ja kuntien alueillaan hallinnoimat sillat sekä yksityisteiden sillat. Tämän siltajoukon määrää ei voida tarkasti ilmoittaa koska siltojen lukumäärää ei ole tilastoitu kootusti. Osa kaupungeista ja kunnista on tallentanut siltojen tiedot Liikenneviraston hallinnoimaan Siltarekisteriin. Yksittäisten omistajien silloista, joiden tiedot on tallennettu Siltarekisteriin, Helsingin kaupungin rakennusvirasto hallinnoi noin 600 siltaa Helsingin kaupungin alueella. Muut kaupungit ja kunnat hallinnoivat Siltarekisterin mukaan noin 1700 siltaa. [9]. Luvuista puuttuvat vielä yksityisteiden sillat sekä niiden kaupunkien ja kuntien sillat, joita ei ole tilastoitu Siltarekisteriin. Yksitysteiden siltoja on arviolta 20 000 – 30 000 kappaletta [10][11]. Arvio yksityisteiden siltojen lukumäärästä on esitetty lähteessä, eikä siinä ole tarkemmin eroteltu siltojen jakaumaa sillan koon mukaan. Lukuun saattaa siis sisältyä myös suurimpia rumpuja, joiden jännemitta jää alle siltara-

kenteen jännemitan rajana olevan 2 metrin. Näitä rumpuja ei normaalisti lasketa siltatilastoihin. Siltajoukon jakautuminen omistajan mukaan on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 1). Kuvan perusteella yksityisteiden sillat muodostavat merkittävän osan Suomen silloista. Näin ei kuitenkaan ole, koska yksityisteiden sillat ovat kooltaan pieniä ja kansineliöiden tai uudelleenrakennusarvon perusteella tarkasteltuna yksityisteiden sillat muodostavat varsin pienen osan siltakannasta. Merkittävin osa Suomen silloista koostuu-kin Liikenneviraston hallinnoimista ja parhaiten tilastoiduista tie- ja rautatiesilloista. Jatkossa tässä tutkimuksessa peilataan koko Suomen sillastoa Liikenneviraston siltojen kautta.

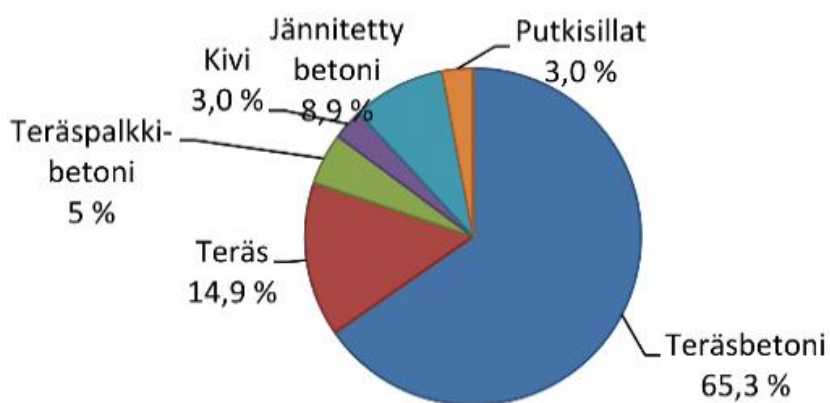


**Kuva 1:** Suomen sillat, jaoteltuna sillan omistajan mukaisesti.

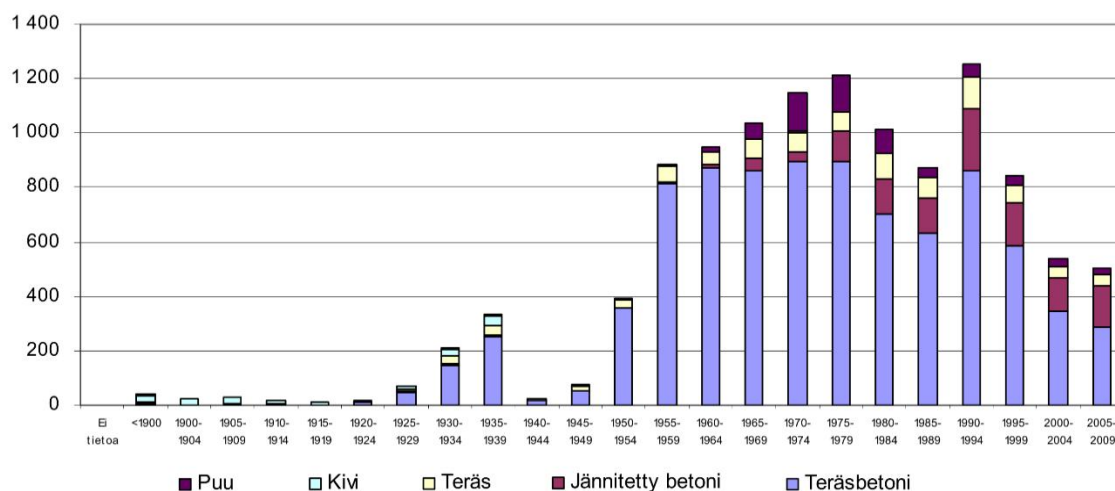
Suurin osa sekä Suomen tie- että rautatiesilloista on rakennettu teräsbetonista, kuten alla olevista kuvista nähdään (Kuva 2, Kuva 3 ja Kuva 4). Sillan päärakennusmateriaalin mukaan jaoteltaessa, betonisilloiksi voidaan lukea myös jännitetyt sillat sekä ratasilloista teräspalkki-betonisillat. Tiesiltojen rakentaminen keskittyy 1950-luvun puolivälin ja 1990-luvun lopun väliseen aikaan, kuten alla olevasta kuvasta voidaan päätellä (Kuva 4). Ratasiltojen osalta sillan iän määrittämien ei ole niin yksinkertaista, koska usein sillan alusrakenteet on säilytetty päällysrakenteen uusimisen yhteydessä. Ratasiltojen kansirakenteiden keski-ikä on noin 45 vuotta, mutta alusrakenteet voivat olla merkittävästi vanhempia. Koska sillan peruskorjaus tulisi suorittaa kun silta on saavuttanut 30–40 vuoden iän, voidaan sanoa että suurin osa Suomen silloista on saavuttanut peruskorjausiän. [12].



**Kuva 2:** Tiesiltojen rakennusmateriaalien jakauma Liikenneviraston silloissa, siltojen lukumäärän suhteen [12].

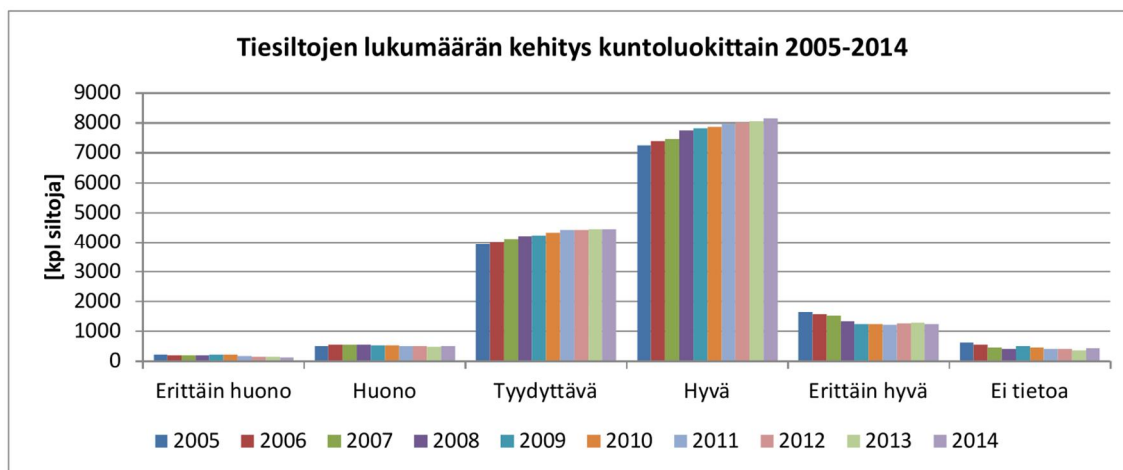


**Kuva 3:** Rautatiesilloissa käytettyjen päärakennusmateriaalien jakauma, siltojen lukumäärän suhteen [12].

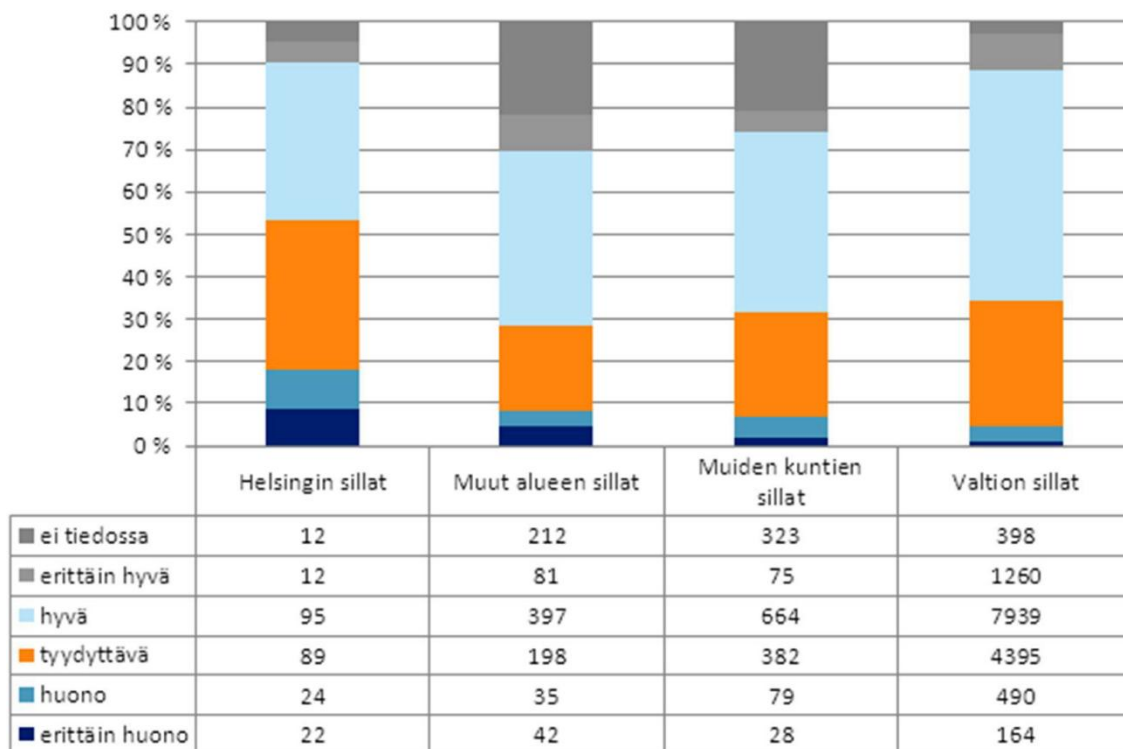


**Kuva 4:** Liikenneviraston tiesiltojen lukumäärän (ei sisällä putkisilloja) ikäjakauma rakennusmateriaaleittain [13].

Suurin osa silloista on erittäin hyvässä tai hyvässä kunnossa. Siltojen kunto on kuitenkin laskemassa, koska erittäin hyväkuntoisista silloista siirtyy siltoja hyväkuntoisten ja tyydyttävä kuntoisten siltojen joukkoon siltakannan ikääntymisen ja sen tuoman vaurioiden lisääntymisen johdosta. [13]. Toisaalta huonokuntoisten siltojen määrän lisääntyminen on saatu pysäytettyä vuoden 2006 aikana, jonka jälkeen huonokuntoisten siltojen määrä on alkanut hitaasti pienentyä. [13, s. 61]. Siltojen kuntoluokat on kuvattu myöhemmin työssä (Kuva 9). Ilmiö on nähtävissä alla olevassa kuvassa (Kuva 5), jossa on esitetty Liikenneviraston tiesiltojen kunnon kehittyminen kuntoluokittain vuosien 2005 ja 2014 välillä. Kuvassa on esitetty siltojen lukumäärä kussakin kuntoluokassa. Tilasto olisi havainnollisempi, jos kansineliöt olisi esitetty kuntoluokittain siltojen kappalemäärän sijaan, valitettavasti tämän tyyppistä tilastoa ei ollut saatavilla. Alla olevassa kuvassa (Kuva 6) on kuvattu ajoneuvoliikenteen siltojen osalta Helsingin kaupungin siltojen, alueen muiden siltojen (Espoon ja Vantaan kaupungin sekä Helsingin, Espoon ja Vantaan alueella olevat Liikenneviraston sillat), muiden kuntien ja kaupunkien siltojen sekä Liikenneviraston siltojen kunnon jakautuminen kuntoluokittain.



**Kuva 5:** Liikenneviraston tiesiltojen kunnon kehittyminen, vuosina 2005 – 2014. Siltojen kappalemäärä kuntoluokittain [14].



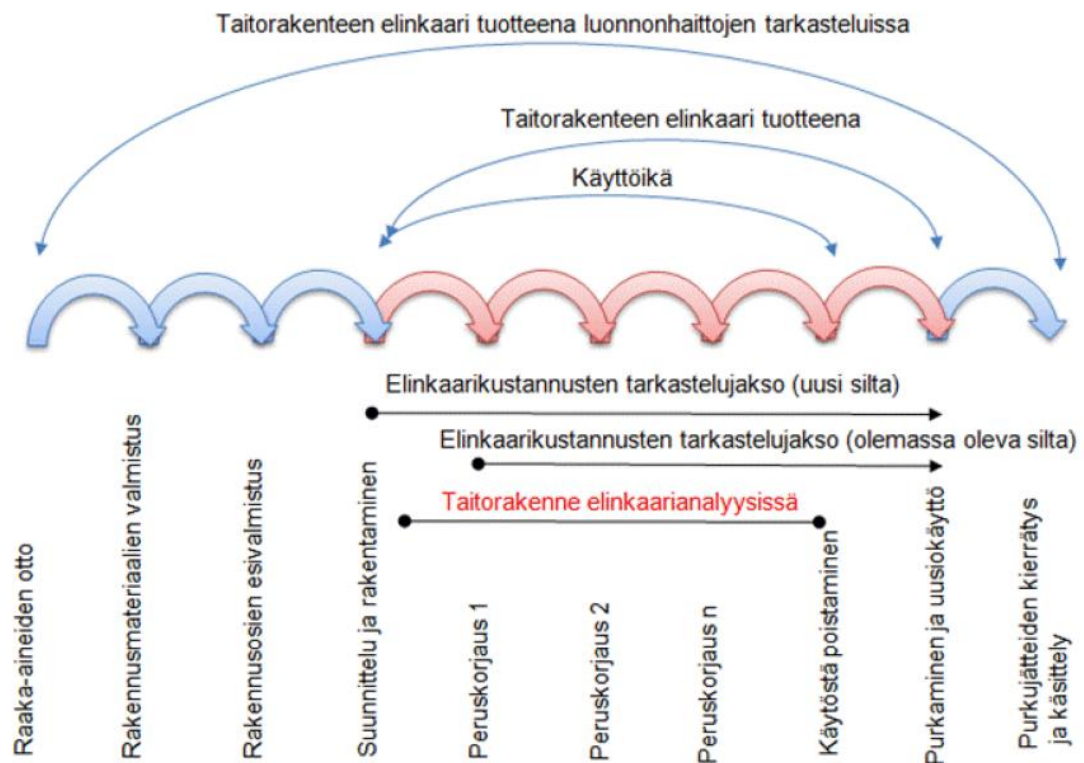
**Kuva 6:** Ajoneuvoliikenteen siltojen kuntojakauma vuonna 2012 [9, s. 12].

Siltojen erikoistarkastuksia sekä peruskorjauksia tulisi suorittaa vuodessa noin 150 kappaletta. Tällä määrällä tiesiltojen palvelutaso ja kunto pystytään säilyttämään hyväksyttävällä tasolla sekä kuromaan kiinni kertynyttä korjausvelkaa [15]. Korjausvelkaa on kertynyt, koska suuri ikäluokka silloista on saavuttanut peruskorjauksiensa samanaikaisesti. Peruskorjattavien siltojen määrä kasvaa siis nopeammin kuin siltoja ehditään peruskorjata. Julkisen liikenneverkon, joka sisältää Liikenneviraston tie- ja rataverkon sekä vesiväylät, korjausvelaksi on arvioitu 2,17 miljardia euroa (arvio vuonna 2011). Siltojen osuus tästä summasta on 249 miljoonaa euroa. Siltojen korjaustarpeeksi on arvioitu tiesiltojen osalta 851 siltaa ja ratasilloista 115 siltaa. [16]. Uusimmissa julkaisuissa liikenneverkon korjausvelan osuus on arvioitu jo suuremmaksi, 2,5 miljardia euroa (arvio vuonna 2013) [17]. Lähteessä ei ole eroteltu siltojen tai muiden yksittäisten teki- jöiden osuutta koko liikenneverkon korjausvelasta. Samansuuntaisia tilastoja voidaan nähdä myös yksittäisten kaupunkien ja kuntien osalta. Helsingin kaupungin rakennusviraston hallinnoimien siltojen korjausvelaksi on arvioitu 83,4 miljoonaa euroa [9].

### 2.1.2 Sillan elinkaari

Betoni- ja terässillat suunnitellaan lähtökohtaisesti 100 vuoden käyttöikää varten. Puisten tai teräsputkisiltojen suunnittelukäyttöikä on alhaisempi, 50 vuotta. Sillan kantavien pää- rakenneosien tulee saavuttaa suunniteltu käyttöikä hyvän suunnittelun sekä huolto- että ylläpitotoimien avulla. Muita kuin päärakenneosia voidaan uusia, peruskorjata tai kunnostaa sillan käyttöänsä aikana useitakin kertoja. [15, s. 19]. Sillan elinkaarta on kuvattu alla olevassa kuvassa (Kuva 7).





**Kuva 7:** Taitorakenteen elinkaari ja sen aikana tehtävät korjaukset [18, s. 83].

Sillan elinkaaren aikana voidaan tarkastella siltarakenteen vaikutuksia ympäristöön luonnonhaittojen kautta, jolloin tarkastelussa on mukana materiaalien raaka-aineiden tuottamisen, materiaalin valmistamisen ja kuljetusten sekä siltarakenteen purkujätteiden kierrätyksen aiheuttamat kuormitukset luonnolle. Sillan ylläpidon kannalta tarkastellaan sillan elinkaarta valmiina tuotteena, sillan suunnittelusta rakenteen purkamiseen. Sillan käyttöikä muodostuu sillan rakentamisen ja käytöstä poistamisen välisestä ajasta. Sillan käyttöiän aikana siltarakenteiden kuntoa seurataan ja tehdään korjaustoimenpiteitä sillan käytettävyyden ja käyttäjien turvallisuuden takaamiseksi.

Sillan yksittäisille rakenneosille on annettu omia käyttöikäavoitteita, jotka tulee huomioida sillan suunnittelussa. Suunnittelun lähtökohtana tulee olla kyseisen rakenneosan toimivuuden varmistaminen koko rakenneosan käyttöiän aikana. Rakenneosan tavoiteikä, kun kyseessä on:

- |  |           |
|--|-----------|
| - reunapalkki, suolatulla tiellä       | 40 vuotta |
| - reunapalkki, suolaamattomalla tiellä | 50 vuotta |
| - vedeneriste, kumibitumikermi         | 40 vuotta |
| - vedeneriste, nestemäinen             | 40 vuotta |
| - vedeneriste, mastiksieristys         | 30 vuotta |
| - liikuntasaumalaitteet                | 30 vuotta |
| - puurakenne, säältä suojassa          | 50 vuotta |
| - puurakenne, helposti uusittava       | 25 vuotta |
| - puurakenne, kannet                   | 20 vuotta |

- teräsrakenteen uusintamaalaus 35 vuotta
- betonirakenteen pinnoite 20 vuotta.

Rakenneosan käyttöikään vaikuttavat muun muassa ympäristön rakenneosaan kohdistama rasitus, käytetyt materiaalit sekä rakenneosan huolto ja ylläpito. Tutkimuksen kirjoitushetkellä vielä julkaisematon lähde, Liikenneviraston Taitorakenteiden ylläpito – Toimintalinjat [14], määrittelee rakenneosalta tavoiteltavat käyttöiät. Aiempaan vastavaan julkaisuun nähden käyttöiät ovat nousseet, joillain rakenneosilla jopa huomattavasti. Kehitykseen vaikuttaa nykyisin käytettävissä olevat paremmat materiaalit. [14]. Rakenneosan käyttöiällä tarkoitetaan kyseisen rakenneosan käyttöikää, jonka jälkeen tapauskohtaisesti tulee harkita rakenneosan uusimista tai peruskorjausta. Yksittäisiä rakenneosia korjaamalla saavutetaan koko siltarakenteelle asetettu käyttöikä.

Sillan käyttöiän aikana tehtävien peruskorjausten ajankohtaa ei välttämättä määritä sillan vaurioituminen, vaan sillan korjaaminen tai parantaminen voi tulla ajankohtaiseksi myös sillan toiminnallisten puutteiden kautta. Siltaa voidaan joutua leventämään tai vahventamaan siltapaikalla muuttuvien liikennejärjestelyjen tai sillan riittämättömän liikenteenvälityskapasiteetin takia. [15].

### 2.1.3 Tarkastusjärjestelmä

Siltojen tarkastustoiminnan tarkoituksena on selvittää siltakannan kunto ylläpitoinvestointeja varten sekä seurata siltojen kunnon kehittymistä. Siltojen tarkastaminen jakaantuu usean tasoiseen tarkastukseen, joita suoritetaan koko sillan käyttöiän ajan. [12].

Tarkastuskäytännöt vaihtelevat siltoja hallinnoivan organisaation mukaan. Liikenneviraston ja suurimpien kaupunkien hallinnoimat sillat tarkastetaan Liikenneviraston laatiman ohjeistuksen mukaisesti. Tässä kappaleessa käsitellään tarkastusjärjestelmää pääsääntöisesti Liikenneviraston ohjeiden puitteissa, koska suurin osa siltakannasta tarkastetaan näiden ohjeiden mukaisesti.

Tarkastukset voidaan jakaa seuraaviin tarkastuksiin:

- vastaanottotarkastus
- vuositarkastus
- yleistarkastus
- (laajennettu yleistarkastus)
- erikoistarkastus
- (tehostettu tarkkailu, monitorointi).

Luettelossa suluissa mainitut tarkastukset eivät kuulu pääsääntöisesti sillan käyttöiän aikana tehtäviin tarkastuksiin, vaan ovat erityistapauksia. [12]. Siltojen yleisimmät tarkastustyyppijä on käsitelty tarkemmin seuraavissa alaluvuissa.

#### Vastaanottotarkastus

Vastaanottotarkastus suoritetaan sillan valmistuttua sen käyttöiän alussa tai siltaan kohdistuneen korjaustyön jälkeen käyttöiän aikana. Tarkastuksessa sillan rakennuttaja vastaanottaa sillan urakoitsijalta ja tarkastaa täyttääkö silta sille asetetut laatuvaatimukset.

Tarkastuksessa todetaan sillan kunto vastaanottohetkellä. Tulos toimii lähtötietona tuleville tarkastuksille. [12].

### **Vuositarkastus**

Vuositarkastus on siltarakenteille vuosittain tehtävä silmämääräinen tarkastus. Tarkastuksen tavoitteena on paikallistaa erityisesti liikenneturvallisuutta, liikenteen sujuvuutta tai käyttöturvallisuutta vaarantavat tekijät. [12]. Tarkastuksen suorittaa pääsääntöisesti siltojen ylläpidosta vastaava alueurakoitsija. Tarkastus suoritetaan osana siltojen ylläpitoa ja hoitoa. Sen tarkoituksena on antaa sillan ylläpitäjälle kuva siltojen hoidon riittäväyydestä. Lisäksi tarkastus täydentää harvemmin tehtävää yleistarkastusta turvallisuuden kannalta keskeisten vaurioiden osalta. Esimerkkinä mainittakoon kaiteiden vakavat törmäysvauriot, jotka vaarantavat liikenneturvallisuutta. Turvallisuutta vaarantavat ja korjaustoimenpiteitä vaativat vauriot ilmoitetaan siltaa hallinnoivalle taholle, joka ryhtyy toimenpiteisiin tilanteen korjaamiseksi. [19].

Erytyisesti vuositarkastuksen suorittamisessa on eroja siltojen ylläpitäjien välillä. Esimerkiksi Helsingin kaupungin siltojen vuositarkastukset eivät kuulu ylläpitourakoitsijoiden toimiin vaan ne suoritetaan ulkoisen konsultin toimesta. Tarkastuksissa keskitytään turvallisuuden lisäksi kiireellisiä toimenpiteitä vaativiin vaurioihin tai hoitotoimenpiteisiin, jotka korjaamalla voidaan välttää vaurioiden aiheuttamat seurannaisvaikutukset. [20].

### **Yleistarkastus**

Siltojen kunnon seuraamisen kannalta yleistarkastus on tärkein silloille tehtävistä tarkastuksista. Yleistarkastuksia tehdään silmämääräisenä tarkastuksena, pääsääntöisesti 5 vuoden välein, koko sillan käyttöiän ajan. Tarkastusten välinen aika voi vaihdella 3-10 vuoteen, riippuen rakenteen kunnosta. [12].

Yleistarkastuksen perusteella saadaan vuositarkastusta tarkempaa tietoa siltarakenteen kunnosta ja vaurioista. Tarkastuksessa käydään läpi kaikki näkyvät rakenneosat ja kirjataan ylös havaittu vaurio, sen sijainti ja vaurioitumisen aste sekä tehdään ehdotus korjaustoimenpiteestä ja sen kiireellisyydestä. Tarkastaja antaa sillan jokaiselle päärakennusosalle sekä koko sillalle kuntoarvion. Tarkastuksessa havaitut vauriotiedot kirjataan taitorakenteiden hallintajärjestelmään, tällä hetkellä Siltarekisteriin ja tulevaisuudessa taitorakennerekisteriin. [12].

Yleistarkastusten tuottama tieto rakenteiden kunnosta toimii pohjana taitorakenteiden hallintajärjestelmän kautta tehtävälle siltakannan hallinnoinnille [21, s. 8]. Yleistarkastuksessa todettujen vaurioiden ja sillan kunnon perusteella silta nousee korjausohjelmaan.

### **Erikoistarkastus**

Rakenneavauksia ja laboratoriotutkimuksia sisältävän erikoistarkastuksen perusteella saadaan sillan vaurioista ja rakenteen kunnosta kattavampi kuva kuin silmämääräisesti toteutettavalla yleistarkastuksella. Erikoistarkastus tehdään korjaussuunnitelman tai toimenpidepäätösten pohjaksi, jotta sillan kunnosta, vaurioitumisesta sekä vaurioiden syistä

saadaan riittävästi tietoa. Olemassa olevan sillan kunto varmistetaan erikoistarkastuksella myös silloin kun siltaa parannetaan poistamalla toiminnallisia puutteita. [12].

Erikoistarkastuksen yhteydessä tehdään seuraavat toimenpiteet:

- laaditaan tarkastussuunnitelma
- laaditaan turvallisuussuunnitelma
- laaditaan ja toteutetaan liikennejärjestelysuunnitelma
- tehdään yleistarkastus
- tehdään kenttätutkimukset ja -mittaukset sekä otetaan tarvittavat näytteet
- tehdään laboratoriotutkimukset näytteistä
- päivitetään sillan ja tarkastuksen tiedot Siltarekisteriin sekä
- laaditaan erikoistarkastusraportti [12, s. 68].

Erikoistarkastuksen yhteydessä olemassa olevalle betonirakenteelle tehtävät yleisimmät tutkimukset ovat:

- betonin kloridipitoisuuden mittaaminen
- betonin vetolujuuden mittaaminen
- betonin puristuslujuuden mittaaminen
- betonin kunnon selvittäminen ohuthietutkimuksella
- karbonatisoitumissyvyyden mittaaminen
- terästen betonipeitteen paksuuden mittaaminen.

Betonirakenteiden tutkimusmenetelmiä on esitetty laajemmin alla olevassa taulukossa (Taulukko 1). Kohteeseen sopivat tutkimusmenetelmät valitaan taulukosta kohdekohtaisesti.

Taulukko 1: Betonirakenteen tutkimusmenetelmät [12, s. 86].

TUTKIMUSMENETELMÄ		OMINAISUUS TAI VAURIO																						
		Mitat	Raudituksen koko ja sijainti	Raudituksen korroosio	Karbonatisoituminen	Kloridipitoisuus	Halkaisu	Kosteuspitoisuus	Pakkasenkestävyys	Huokoisuus ja läpäisevyys	Tartunta	Lujuus	Materiaalirakenne	Betonin laatu	Laadun vaihtelu	Kimmoisuus	Sementtityyppi	Irtoamat ja onkalot	Palovaurio	Kiviaineksen laatu	Kiviainesreaktiot	Sulfaatinkestävyys	Törmäysvaurio	
KOE TAI MITTAUS KOHTEESSA	Näköhavainnot	●	○	●			●	○	○			○		○				○	●	○	○	○	○	●
	Mittaukset	●	○	○			●																○	
	Iskukoe (koputtelu)									○					○			●	●				○	
	Fenolftaleiinikoe			●	●																			
	Kloridipitoisuus			●		●																		
	Betonipeitemittaus		●																					
	Tartuntakoe									●				○					○					
	Ultraäänimittaus	○					○					○		○	●	○		●					○	
	Kimmoivasaramittaus											○		○				○	○					
	Potentiaali mittaus			●																				
	Ominaisvastusmittaus								○					○										
	Polarisaatiovastusmittaus			○																				
	Kosteusmittaus						●																	
	Läpäisevyysmittaus							●						○										
	Kuituoptiikka																	○	○				○	
	Kaikuluotaus	○																○						
	Laserkeilaus	●																○						
	Röntgenkuvaus	○	○												●			○						
	Jännitysaaltomenetelmät	○	○				○						○		○			○						
	Pinnan kastelu ja valokuvaus						○																	
	Maatutkamittaus	○	○				○								○			○						
	Siltatutkaus	○	○				○								○			○						
	Lämpökamerakuvaus						○	○		○					○			○						
KOESTUS LABORATORIOSSA	Lieriöiden puristus ja halkaisu	○	○								●		●										●	
	Kemiallinen analyysi				●												○		○			●		
	Pintahieanalyysi					○		●																
	Ohuthieanalyysi				○	○		●	○			●	●				●		○	●	●			
	Laattakoe pakkassuolakokeena							●																
	Laattakoe pakkaskokeena							●																
	Kapillaarinen vedelläkylästyskoe							●	●															
	Muodonmuutoskoe															●							○	
Painekoe (vedenpitävyys)								●																

● Perusmenetelmä  
○ Täydentävä menetelmä

● Perusmenetelmä

○ Täydentävä menetelmä

Erityisen tärkeää jatkotoimenpiteiden kannalta on selvittää sillan eri vaurioiden syyt ja silmämääräisesti näkymättömissä olevat rakenteeseen vaikuttavat turmeltumismekanismit. Tämä takaa sen, että korjaustoimenpiteet pystytään kohdentamaan oikein ja vaurioitumisen syy saadaan poistettua, eikä hoideta vain rakenteessa ilmenevää seurannais-

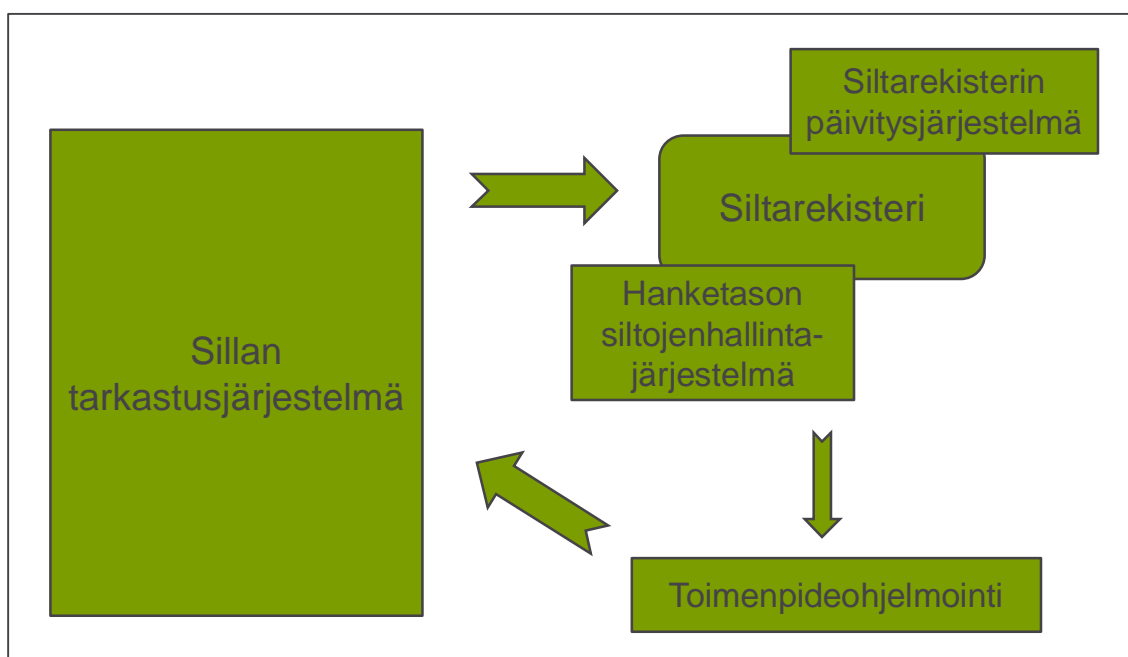
vaikutusta. Siltarakenteen vaurioista ja puutteista tulee selvittää vaurion olemassaolo, laajuus, sijainti, vaurioitumisen aste, vaurioitumisen syy, vaikutukset rakenteeseen ja arvioida vaurion etenemistä.

Erikoistarkastuksen perusteella saadaan tietoa rakenteen vaatimista korjaustoimenpiteistä, niiden laajuudesta ja ajoittamisesta sekä kustannusvaikutuksista. Erikoistarkastuksen perusteella tehdään sillan korjaussuunnitelma tai erikoistarkastuksen tuottamia tietoja käytetään lähtötietoina päätöksenteossa mietittäessä sillalle kohdistuvia muita toimenpiteitä, kuten toiminnallisten puutteiden poistamista. [12]. Erikoistarkastuksen yhteydessä hankitaan myös tarvittavat lähtötiedot sillan lähtötietomallin luomiseksi. Tietomallin lähtötietojen kokoamista ja tietomallin rakennetta käsitellään tarkemmin tutkimuksen seuraavissa luvuissa.

#### 2.1.4 Taitorakenteiden hallintajärjestelmä

Edellisessä luvussa kuvattu tarkastusjärjestelmä on osa taitorakenteiden hallintajärjestelmää. Muut hallintajärjestelmän osat ovat silta-/taitorakennerekisteri ja hanketason eli siltatason siltojenhallintajärjestelmä Hanke-Siha. [21].

Taitorakenteiden hallintajärjestelmä on kehitetty taitorakenteiden elinkaaren hallitsemiseksi. Hallintajärjestelmän tavoitteena on tarjota siltoja hallinnoivalle taholle mahdollisuus siltakannan analysointiin kunnossapito- ja investointipäätöksiä varten. Oikein mitoitetuilla ja ajoitetuilla investoinneilla taataan riittävä palvelutaso väylänkäyttäjille. [21]. Hallintajärjestelmä on kehitetty Liikenneviraston toimesta, mutta myös osa yksittäisistä kaupungeista ja kunnista käyttää järjestelmää, kuten Helsingin kaupunki. Hallintajärjestelmän rakenne on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 8).



**Kuva 8:** Siltojen hallintajärjestelmä, muokattu lähteestä [22, s. 8].

Siltarekisteriin tallennetaan luvussa 2.1.3 kuvatun tarkastusjärjestelmän tuottama aineisto. Siltarekisteriin on tallennettu myös siltojen perustiedot, kuten sillan mitat, rakenne ja edelliset tarkastukset ja korjaukset. Siltarekisteri laskee sillalle kertyvän vauriopistesumman (VPS) yleistarkastuksessa todettujen vaurioiden ja annetun kuntoarvion perusteella. Vauriopistesumma lasketaan summaamalla sillan yksittäisten vaurioiden vauriopisteet. Vauriopisteisiin vaikuttavat tekijät ovat rakenneosa, jossa vaurio sijaitsee, kyseiselle rakenneosalle annettu kuntoarvio, vaurioluokka ja vaurion korjaustarpeen kiireellisyys. Vauriopistesumman määrittely ja laskeminen on esitetty tarkemmin Sillantarkastuskäsikirjan [21] liitteessä 8. [21].

Sillan kuntoa kuvataan myös sillalle määritettävän kuntoluokan perusteella. Kuten vauriopistesumman, myös kuntoluokan määrittämiseen vaikuttavat useat tekijät. Kuntoluokka määräytyy sillalle lasketun yleiskunnon ja/tai tarkastajan kuntoarvion sekä tiettyjen vauriokirjausten perusteella. Vauriokirjauksista määräävänä tekijänä voidaan pitää vedeneristeen vesivuotovaurioita. Kuntoluokan määräytyminen on esitetty tarkemmin Sillantarkastuskäsikirjan [21] liitteessä 8. [21]. Sillan kuntoluokat on kuvattu alla olevassa kuvassa (Kuva 9). Kuntoluokan 2 ja 1 sillat luokitellaan huonokuntoisiksi silloiksi.

Kuntoluokka	Kuvaus	Ylläpitotarve
5 Erittäin hyvä	Uuden veroinen	Ei ylläpitotarvetta
4 Hyvä	Hyväkuntoinen, normaalia kulumista.	Vähäistä kunnostusta. Ennaltaehkäisevää ja vaurioitumista hidastavaa toimintaa.
3 Tyydyttävä	Puutteita ja vauriota on, mutta korjausta voidaan siirtää.	Peruskorjaus tulossa. Tehostettua ennaltaehkäisevää ja vaurioitumista hidastavaa toimintaa.
2 Huono	Peruskorjauksen tarve	Peruskorjaus tehtävä lähivuosina
1 Erittäin huono	Täydellisen peruskorjauksen tai uusimisen tarve	Peruskorjaus jo myöhässä, tehtävä kiireellisesti

**Kuva 9:** Siltojen kuntoluokat [9, s. 11].

Hanketason sillantarkastusjärjestelmällä eli Hanke-Sihalla siltojen ylläpitäjä voi seurata siltajoukkonsa kuntoa ja kunnon kehittymistä sekä laatia korjausohjelmia. Siltojen ylläpitäjä pystyy ryhmittelemään korjaustoimenpiteitä tarvitsevat sillat kiireellisyysjärjestykseen sekä ajoittamaan korjaukset Hanke-Sihalla luotujen korjausohjelmien avulla. [22, s. 9]. Hanke-Sihan tiedot perustuvat Siltarekisterin tietoihin siltakannan kunnosta. Siltarekisteristä nostetaan Hanke-Sihan avulla esiin siltoja, joiden kunto on määritelty huonoksi tai VPS nousee liian suureksi ja ylittää määrätyn raja-arvon.

Sillan ylläpitäjä laatii toimenpideohjelmat perustuen Siltarekisterin ja Hanke-Sihan tietoihin. Toimenpideohjelmoinnin avulla siltojen ylläpitäjä järjestää haluamansa suuruisen siltajoukon toimenpiteiden kohteeksi. Siltajoukon koko, siltojen sijainti, vaurioiden

vakavuus ja käytettävissä oleva rahamäärä ovat osa tekijöitä, joiden perusteella määritellään vuosittain toimenpideohjelmaan kuuluva siltajoukko.

Tulevaisuudessa Liikennevirasto on ottamassa käyttöön kaikkien taitorakenteiden yhteistä hallintajärjestelmää Taitorakennerekisteriä. Taitorakennerekisteri tulee korvamaan nykyisen Siltarekisterin, josta siltoja koskevat tiedot siirretään uuteen järjestelmään. Uuden järjestelmän avulla siltojen elinkaarta voidaan tarkastella tarkemmalla tasolla, järjestelmän sisältämän elinkaarisuunnittelumoduulin avulla. [18].

### **2.1.5 Siltojen korjaaminen**

Sillan käyttöiän aikana siltarakenteisiin kohdistuu useita eritasoisia korjaustoimenpiteitä. Tarve korjaustoimenpiteille nousevat esiin rakenteen vaurioitumisesta tai sillan käyttötarkoituksen muutoksista. Karkeasti jaoteltuna silloille tehtävät korjaukset voidaan jakaa takuukorjauksiin, vauriokorjauksiin, peruskorjauksiin ja toiminnallisten puutteiden poistamiseen. Kevyimmillään toimenpiteet ovat yksittäisen vaurion vauriokorjauksia tai sillan toimintaa ylläpitävää huoltoa. Laajimmillaan korjaustoimet ovat koko sillan peruskorjaus tai sillan toiminnallisen kapasiteetin parantaminen kuten sillan leventäminen. Siltarakenteeseen kohdistuvia korjaustyyppisiä ovat muun muassa:

- ylläpitokorjaus tai ylläpitoon liittyvä huolto
- yksittäinen vauriokorjaus
- peruskorjaus
- sillan kantavuuden parantaminen
- sillan leventäminen
- päällysrakenteen uusiminen ja
- sillan uusiminen. [23].

#### **Yksittäisten vaurioiden vauriokorjaus**

Yksittäisiä vaurioita korjataan siltarakenteista sillan vaurioluokasta riippumatta. Vaurioista liikenneturvallisuutta vaarantavat vauriot korjataan heti kun vaurio havaitaan. Vauriot, joilla on merkittäviä seurannaisvaikutuksia muulle rakenteelle, korjataan mahdollisimman pian. Muut yksittäiset vauriot korjataan sillan ylläpitäjän laatiman korjausohjelman mukaisesti. [15].

#### **Peruskorjaus**

Siltojen peruskorjaus on korjaustoimenpiteistä kattavin. Peruskorjauksessa korjataan sillan vauriot ja vaurioitumisen aiheuttamat syyt kokonaisvaltaisesti. Peruskorjauksen yhteydessä pyritään palauttamaan sillan palvelutaso korjaamalla tai uusimalla kaikki sillan vaurioituneet rakenteet, siinä määrin kun se on taloudellisesti järkevää. Vaurioituneet rakenteet pyritään palauttamaan alkuperäiselle tasolle, peruskorjauksen yhteydessä voidaan parantaa myös sillan toiminnallisia puutteita esimerkiksi leventämällä siltaa. Peruskorjauksen yhteydessä tehtävistä yksittäisistä korjaustoimenpiteistä yleisimpiä ovat:

- pintarakenteiden uusiminen



- reunapalkkien uusiminen
- kaiteiden uusiminen
- liikuntasaumojen korjaaminen tai uusiminen
- puukannen uusiminen
- teräsputkisillan uusiminen tai
- rata-alueen leventäminen ratasillan päissä. [23].

Sillan pitkäaikaiskestävyyden kannalta yksittäisistä korjaustoimenpiteistä tärkeimpänä voidaan pitää vedeneristeen uusimista, erityisesti tieosuuksilla joiden talvikunnossapidossa käytetään suolaa. Vedeneristeen vesivuodot määrittelevät usein peruskorjauksen ajankohdan, jotta seurannaisvaikutukset sillan kansirakenteelle eivät ehdi kehittyä merkittäviksi. [15].

Silta otetaan peruskorjausohjelmaan, kun sillan kuntoluokka todetaan yleistarkastuksessa huonoksi tai erittäin huonoksi tai sillan VPS nousee määrätyn rajan yli. Ennen peruskorjauksen toteuttamista sillalle tehdään erikoistarkastus ja laaditaan sen perusteella korjaussuunnitelma. Peruskorjauksen onnistumisen kannalta erikoistarkastusvaiheessa on olennaista tunnistaa vauriomekanismit ja syyt, jotka aiheuttavat kyseisen turmeltumisen rakenteessa. [15].

Siltapaikat pidetään useasti auki liikenteelle korjaustyön aikana, jolloin korjaukset joudutaan tekemään liikenteen ehdoilla, työaikaisten liikennejärjestelyjen turvin [23]. Siltojen peruskorjausta on pyritty nopeuttamaan, jotta työaikaisten liikennejärjestelyjen aiheuttama liikennehaitta siltapaikalla saadaan minimoitua. Yksittäisistä työvaiheista erityisesti kannen yläpinnan korjaaminen ja sillan pintarakenteiden uusiminen aiheuttavat suurimman liikennehaitan sillan käyttäjille ja muodostavat ajallisesti suurimman osan peruskorjauksen kestosta. [24].

### **Toiminnallisten puutteiden poistaminen**

Silloille asetetut toiminnalliset vaatimukset muuttuvat ajan kuluessa. Väylähankkeet koostuvat yhä useammin olemassa olevan väylän perusparantamisesta tai muuttamisesta. Väylän muuttuessa myös väylällä oleviin siltoihin kohdistuu muutostarpeita. Muutos-tarve syntyy kun olemassa olevan sillan toiminnallinen kyky toimia osana väylää heikkeenä ja sillalle syntyy toiminnallisia puutteita. Sillan toiminnallisia puutteita ovat muun muassa hyötyleveydeltään liian kapea silta, kantavuudeltaan liian alhainen kapasiteetti tai liian matala alikulkukorkeus [15, s. 25]. Liikenneverkon päivittyessä ja muuttuessa siltojen toiminnalliset puutteet, varsinkin vilkkaasti liikennöidyillä ja kehittyvillä alueilla korostuvat.

Vuonna 2013 tehty muutos ajoneuvoasetukseen sallii tiestöllä kokonaismassaltaan painavampien ja korkeampien ajoneuvojen käyttämisen. Tämä tarkoittaa olemassa olevien siltojen kannalta uusia toiminnallisia puutteita. Ajoneuvojen suurimman sallitun korkeuden kasvaessa alikulkukorkeudet tulevat rajoittavaksi tekijäksi joidenkin siltojen kohdalla. Suurempi haaste on, ettei kaikkien nykyisten siltojen kantavuus tule riittämään, jolloin osaa silloista joudutaan vahventamaan tai asettamaan sillalle painorajoituksia. [25].

Ajoneuvoasetuksen muutoksen johdosta maantieverkon painorajoitettujen siltojen määrä on noussut 140 sillasta 520 siltaan (tilanne 25.3.2014) [26].

Toiminnallisten puutteiden poistamisen mahdollisuus tutkitaan sillan peruskorjauksen korjaussuunnittelun yhteydessä. Mahdolliset toimenpiteet toiminnallisten puutteiden poistamiseksi ovat:

- sillan leventäminen
- sillan vahvistaminen
- päällysrakenteen uusiminen tai
- koko siltarakenteen uusiminen. [15].

Sillan leventämisen ja vahventamisen vaihtoehtoina ovat sillan päällysrakenteen uusiminen tai koko sillan korvaaminen uudella sillalla. Ratkaisu parantamistapojen välillä tehdään teknis-taloudelliseen selvitykseen perustuen. Selvitystä tehtäessä olemassa olevan siltarakenteen kunto tulee huomioida ja kartoittaa erikoistarkastuksen avulla. Liikennevirasto on antanut sillan leventämistä ja suuria valukorjauksia koskevia suunnitteluohjeita [27], joita noudatetaan korjaussuunnittelussa. Sillan vahventaminen voidaan toteuttaa usealla eri tekniikalla. Käytettävissä olevia ratkaisuja ovat muun muassa sillan vahventaminen hiilikuidun avulla tai ulkoisten jänneterästen lisääminen. Vahventamistarve ja sillan kapasiteetti tulee selvittää tapauskohtaisesti. Sillan laskennallista kapasiteettia määritettäessä tulee käyttää Liikenneviraston julkaisemaa ohjeistusta, kuten Siltojen kantavuuden laskentaohjetta. [15][28].

## **2.1.6 Korjaussuunnittelu**

### **Korjaussuunnittelun ohjeet ja laatuvaatimukset**

Siltojen korjaamisesta ja korjausten suunnittelusta on annettu viranomaisten toimesta ohjeistusta. Tiesiltojen osalta SILKO-ohjeet eli siltojen korjaus – ohjeet, opastavat ja ohjaavat suunnittelua. Ohjeissa on kuvattu vauriokohtaisesti oikeat työmenetelmät ja laatuvaatimukset sekä korjaukseen käytettävät materiaalit. Ohjeistuksen tarkoituksena on ollut kehittää korjausrakentamista, parantaa rakenteiden säilyvyyttä ja vaikuttaa siltojen ylläpitoon sekä uudisrakentamisen ratkaisuihin. [29]. Vastaava ohjeistus löytyy myös rautatiesiltojen ylläpidon puolelta. Rautatiesiltojen korjaussuunnittelua ohjaavat HULKO-ohjeet, joissa on huomioitu lisäksi ratarakenteiden erityispiirteet [30]. SILKO- ja HULKO-ohjeet toimivat suunnittelijan ohjeina ja määrittävät halutun laatutason korjauksille. Lisäksi eri rakennusmateriaaleille on laadittu omia korjausohjeitaan. Esimerkiksi Suomen Betoniyhdistys on julkaissut omassa julkaisusarjassaan betonirakenteiden korjausohjeita [31].

### **Korjausperiaatteiden ja – tapojen valinta**

Suunniteltaessa toiminnallisten puutteiden poistamista, suunnittelu noudattaa usein uudiskohteen suunnittelun toimintatapoja ja periaatteita. Siltojen korjaussuunnittelu painot-

tuukin peruskorjausten suunnitteluun. Peruskorjausta suunniteltaessa hyödynnetään olemassa olevaa rakennetta, eikä tarvetta uusille rakenteille ilmene siinä määrin kuin toiminnallisten puutteiden poistamisen yhteydessä.

Peruskorjauksen suunnittelu alkaa periaateratkaisujen tekemisellä. Periaateratkaisut laaditaan ennen tarkempien suunnitelmien laatimista. Periaateratkaisuilla haetaan korjauksen suuret linjat sillan vaurioiden perusteella, vastaamalla kysymyksiin: mitä korjataan, missä laajuudessa ja miten korjataan? Tärkeintä on tunnistaa erikoistarkastuksessa esiin nousseiden vauriomekanismien syyt ja poistaa korjauksen yhteydessä vaurion aiheuttaja, jotta vaurion uusiminen saadaan estettyä tehokkaasti. Siltarakennetta turmelevien vauriomekanismien tuntemus korostuu ja suunnittelijan tulee ymmärtää vaurion aiheuttavat tekijät, valittavien toimenpiteiden vaikutus rakenteen turmeltumiseen ja toimintaan. [32].

Betonisiltojen tapauksessa käytettävissä olevat korjausperiaatteet ja – toimenpiteet on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 2). Taulukossa yksittäiset korjaustavat on jaettu korjausperiaatteiden alle, jotka on esitetty taulukossa alkaen kevyemmistä korjauksista edeten raskaampiin rakenteen uusimista ja erikoismenetelmiä käsitteleviin vaihtoehtoihin. Korjaustapojen jaottelu perustuu suomalaiseen käytäntöön jakaa eri korjaustavat korjausasteen eli kuinka raskas korjaustoimenpide on kyseessä, mukaiseen järjestykseen [31]. Kansainvälinen betonirakenteiden korjausta käsittelevä SFS-EN 1504 mukainen jaottelu on hieman tarkempi ja se jakaa korjausperiaatteet ja -tavat suomalaista käytäntöä teoreettisemmin määriteltäviin ryhmiin [33].

**Taulukko 2:** Korjausasteen ja korjauskäsittelyjen mukaan jaotellut korjaustavat [31, s. 12].

Korjausperiaate	Korjaustapa
Säilyttävä korjaaminen	Impregnointi Pinnoittaminen Ylitasoitus Laastipaikkaaminen Valukorjaaminen Halkeamien imeyttäminen, sulkeminen tai injektointi
Muuttava korjaaminen	Rakenteen pinnan verhoilu (käsittää yleensä myös lisälämmöneristämisen) Ruiskubetonointi Rakenteen vahvistaminen (eri tapoja)
Rakenteen uusiminen	Rakenteen purkaminen ja uudelleen rakentaminen joko kokonaan tai osittain
Erikoismenetelmät	Uudelleenalkalointi (sähkökemiallinen ja passiivinen) Katodinen suojaus Sähkökemiallinen kloridien poisto Inhibointi

Korjausperiaate ja – tapa valitaan taulukon vaihtoehtoista monen eri tekijän vaikutuksen perusteella. Korjaustapaa valittaessa tulee valintaa punnita teknisten seikkojen, taloudellisten seikkojen ja jopa yhteiskunnallisten seikkojen valossa. Siltarakenteen yksittäisen vaurion korjaamiseen voidaan soveltaa useaa korjausperiaatetta. Valinta eri periaatteiden välillä pohjautuu ensisijaisesti teknisiin seikkoihin, mutta on usein kompromissi teknisten ja taloudellisten seikkojen välillä. Sovellettavan korjausperiaatteen valitsemisen jälkeen valitaan kyseisen periaatteen mukaisista korjaustavoista vaurion korjaamiseen soveltuvat menetelmät, joiden väliltä valitaan lopullinen kohteeseen ja sen kyseessä olevan vauriotyyppin korjaamiseen soveltuvin vaihtoehto. [31].

### **Suunnittelun lopputuote**

Korjaussuunnittelun tuloksena suunnittelija tuottaa korjauskohteesta urakka-aineistoa varten kaupallista ja teknistä suunnitelma-aineistoa. Perinteisesti suunnittelijan tuottama aineisto on pääasiassa hankkeen teknistä aineistoa, joka sisältää korjauksen suunnitelmapiirustukset, määräluettelon, kustannusarvion, betoniteräsluettelon sekä siltakohtaisen työselityksen ja laatuvaatimukset [34]. Nykyinen käytäntö aineiston tuottamiseen on laatia suunnitelmapiirustukset 2D-piirustusohjelmalla, luoda manuaalisesti määräluettelo, siihen pohjautuva kustannusarvio ja raudoitusluettelo sekä kirjoittaa erillinen työselitys ja laatuvaatimukset.

Siirryttäessä perinteisellä tavalla tuotetuista suunnitelmista tietomallintamalla tuotettuihin suunnitelmiin myös suunnitelmapiirustusten tuottaminen muuttuu. Tietomallipohjaisesti toteutettavista suunnitelmista on laadittu pilotti-hanketta käsittelevä raportti [35], jossa on esitetty muutamia vaihtoehtoja tietomallipohjaisten suunnitelmien esitystavaksi. Raportti keskittyy esittämään yksittäisen sillan mitta- ja raudoituspiirustukset. Korjaussuunnitelmien erityispiirteitä raportissa ei ole käsitelty.

## **2.2 Tietomallintaminen**

Luvussa 2.2 käsitellään tietomallintamisen perusteita ja taustateoriaa. Lisäksi käsitellään tiedonsiirtämistä hankkeen eri osapuolien välillä ja tiedon siirtämisen olennaisinta osaa, tietomalliselostusta.

### **2.2.1 Tietomallintamisen perusteet**

Tietomallin perusajatuksena on hallita rakennushankkeen aikana syntyvää dokumentaatiota digitaalisessa muodossa, integroituna kohteen geometriaa kuvaavaan kolmiulotteiseen malliin. Tietomalliin rakenteesta tallennetusta tiedosta voidaan poimia esimerkiksi rakenteen mittoja, määriä ja materiaaliominaisuuksia. Tietomallin avulla tietoa rakenteesta voidaan siirtää ja jakaa luotettavasti, koska kaikki tieto on koottu ja tallennettu samaan paikkaan tietomallissa, josta eri käyttäjät voivat lukea haluamansa tiedon. [36]. On kuitenkin tärkeää huomata, ettei tietomalli välttämättä sisällä kolmiulotteista kuvausta

kohteen geometriasta, vaan se voi koostua myös pelkästään esimerkiksi tietokantaan tallennetusta tiedosta.

Keskeisin ero perinteisen piirustusten tuottamiseen on se, että piirustuksilla tuotettu tieto on tarkoitettu ihmisille kun taas tietomalli on tarkoitettu myös tietokoneiden tulkittavaksi [36, s. 8]. Perinteisen viivoista koostuvan piirustuksen sijaan tietokone pystyy tulkitsemaan rakenteita ja ymmärtää seinän olevan seinä, pilarin pilari ja niin edelleen. Tämä mahdollistaa esimerkiksi tietomallista tehtävät analyysit kuten lämpötilan jakautumisen analysoinnin huonetilassa tai rakennettavan seinän määrän ja rakentamisen aiheuttaman kustannuksen lukemisen mallista. Rakenteen geometrian esittämisen lisäksi tietomalli sisältää siis merkittävän määrän muuta tietoa rakenteesta. [37]. Tiedon määrää voidaan kasvattaa rakenteen elinkaaren aikana aina esisuunnittelusta rakenteen kunnossapitovaiheeseen.

### 2.2.2 Tietomallin tietosisältö ja rakenne

Tietomallia koottaessa on tehtävä päätös, mitä tietoa mallinnetaan. Tietomalli pyrkii kuvaamaan todellista rakennetta, mutta on aina yksinkertaistettu kuvaus todellisuudesta. Mallin käyttötarkoituksesta ja vaatimuksista riippuu, mitä on järkevää mallintaa, eli kuinka paljon tietoa rakenteesta sisällytetään tietomalliin. On tärkeää ymmärtää, ettei malli ole täydellinen kuvaus rakenteesta ja sen tulisi sisältää vain ne rakenteet, jotka suunnittelija on suunnitellut. [37]. Liian yksityiskohtainen malli on hidas käyttää ja sen muokkaaminen mahdollisten muutosten osalta käy työlääksi [38]. Esimerkiksi kansilaa-tan raudoituksen päivittäminen vie paljon aikaa jos kannen geometriaa joudutaan muuttamaan ja rauditus on jo mallinnettu aiemmin malliin. Toisena esimerkkinä voidaan mainita maaston geometrian kuvaaminen harvemmalla kolmioverkolla verrattuna siihen mitä maastonmuodot todellisuudessa ovat. Tällä pyritään takaamaan kolmioverkon pienempi tiedostokoko sekä mallin toimivuus ja käytettävyys.

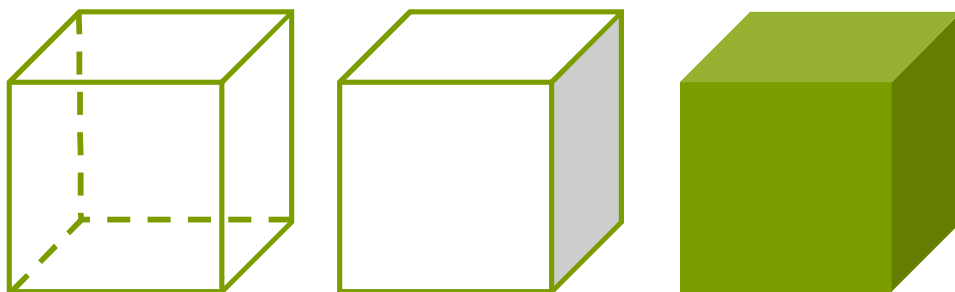
Kolmiulotteinen geometria voidaan mallintaa määrätyn muotoisten yksittäisten kappaleiden, kuten suorakaiteen, sylinterin, pallon tai tason, yhdistelmien avulla. Kappaleita voidaan muun muassa liittää toisiinsa tai leikata toisella kappaleella halutun muodon luomiseksi. Näin luodut kappaleet kuvaavat lähinnä rakenteen geometriaa ja niiden luominen vaatii käyttäjän käsityötä. [38, p. 26–29].

Tehokkaampi tapa mallintaa on objekteihin perustuva mallintaminen. Objekti muodostetaan peruskappaleisiin pohjautuvasta grafiikasta, johon lisätään tietosisältöä. Objekteille voidaan luoda sääntöjä parametrien avulla. Parametreilla määritetään muun muassa objektin edellisessä kappaleessa kuvattuihin kappaleisiin perustuva geometria, jolloin käyttäjän ei tarvitse luoda geometriaa itse yksittäisistä muodoista, vaan geometrian muodostaa mallinnusohjelmisto. Tällöin käyttäjän ei tarvitse itse luoda geometriaa yksittäisistä muodoista, vaan geometrian muodostaa mallinnusohjelmisto. Objektin perusajatuksena on esittää kappaleen parametreihin perustuvan geometrian lisäksi myös tietoa kappaleesta. Objekti tietää olevansa esimerkiksi seinä, pilari tai palkki, lisäksi objekti voi

sisältää materiaaliominaisuuksia, laatuvaatimuksia tai valmistukseen liittyvää dataa. Objektin sisältämä tieto voi vaihdella tai lisääntyä suunnitteluvaiheen mukaisesti suunnittelun edetessä. Objektin sisältämä tieto vaihtelee myös rakennetyypin sekä tietomallin käyttökohteen tai vaatimusten mukaan. [38, p. 29].

Parametrien avulla pystytään määrittelemään objektille sääntöjä, jotka sen tulee täyttää. Objektin määrittelevät ominaisuudet voivat olla joko ohjelmiston määrittämiä kiinteitä ominaisuuksia, joita käyttäjä ei pysty muuttamaan tai manuaalisesti muokattavia, joita käyttäjä voi muuttaa. Sääntöjen perusteella määritellään muun muassa objektin asema tietomallissa, sen liittyminen viereisiin rakenteisiin ja sen ominaisuuksia. [38, p. 29].

Objektit voidaan esittää tietomallissa usealla eri tavalla, riippuen siitä mitä tietoa kyseisen objektin halutaan sisältävän. Eriasteisia mallinnusobjekteja on havainnollistettu alla olevassa kuvassa (Kuva 10). Viiva- tai rautalankamalli muodostuu viivoista, jotka yhdistävät haluttuja pisteitä. Pintamalli muodostuu haluttujen pisteiden välisistä tasopinnoista. Solid- tai tilavuusmalli koostuu pintojen rajaamasta kolmiulotteisesta kappaleesta. Objektien mallinnustapa tulee valita tapauskohtaisesti sen mukaan mitä sillä halutaan esittää. Yksittäisistä objekteista voidaan luoda monimuotoisempia kokonaisuuksia muun muassa yhdistelemällä objekteja tai leikkaamalla toisella objektilla. Pintamalleilla voidaan havainnollistaa tehokkaasti monimuotoisia pintoja, kuten esimerkiksi maaston pintaa. Tilavuusmalliin voidaan puolestaan sisällyttää esimerkiksi betoniteräksiä ja tulkita objektin tilavuus. [39].



**Kuva 10:** Havainnekuvat viiva-, pinta- ja tilavuusmalleista.

Eri mallinnusohjelmien toimintaperiaatteet ohjelman taustalla ovat suhteellisen samankaltaisia. Ohjelmistojen välillä on kuitenkin eroja objektien toiminnassa ja siinä mitä tietoa objekti sisältää sekä yleisissä mallinnusperiaatteissa. Kaikkien ohjelmien taustalla on kuitenkin sama tietomallin perusidea. Tietyntyyppiset rakenteet tulee mallintaa käytettävän ohjelmiston kyseistä rakennetta varten tarkoitetulla työkalulla. Objekti sijoitetaan objektiluokkaan (Object Class) sen mukaisesti minkä tyyppinen rakenneosa on kyseessä. Objektiluokan ja sitä kautta ohjelmistossa käytettävän työkalun mukaan objektille määräytyy sen luomisessa käytettävät säännöt. [38]. Esimerkiksi laatan ja pilarin luomiseen käytettävät säännöt poikkeavat toisistaan. Laatan tapauksessa käyttäjä määrittää laa-

tan paksuuden ja laatta luodaan esimerkiksi seinien sisäpuolelle, kun taas pilarin tapauksessa rakenne mallinnetaan käyttäjän määrittelemien sivumittojen perusteella esimerkiksi kerrosten välille.

Tämän tutkimuksen yhteydessä mallintamiseen käytetään Tekla Structures -ohjelmistoa. Kyseinen ohjelmisto tarjoaa mahdollisuuden jaotella mallinnettuja objekteja muun muassa niiden Class- tai Phase-numeroinnin, nimen tai materiaaliominaisuuksien perusteella. Class-numero voidaan antaa halutulle osalle tai objektille. Numeron perusteella osa tai objekti värjättyy numeroa vastaavalla värillä ja helpottaa saman numeron omaavien osien havainnollistamista. Phase-numeroinnin avulla voidaan yhdistää useita yksittäisiä objekteja kuulumaan samaan joukkoon. Phasen avulla voidaan kuvata esimerkiksi yksittäisistä osista koostuva laajempi rakenneosa, kuten sillan maatuki. Lisäksi yksittäinen objekti voi sisältää muun muassa nimi, materiaali ja profiilitietoja. Näiden ominaisuuksien avulla mallista voidaan suodattaa näkyviin haluttuja objekteja ja niiden muodostamia rakenteita tai kokonaisuuksia. [40].

### 2.2.3 Tiedon siirto osapuolten välillä

Tietomallipohjaisessa tiedonsiirrossa on omat haasteensa. Eri keinoilla ja ohjelmistoilla tuotettua tietoa siirretään hankkeen osapuolten välillä sähköisesti ja tulkitaan osapuolten oman työn kannalta edullisilla ohjelmistoilla. Jos käytettävät ohjelmat eivät kykene lukemaan samaa tiedostomuotoa tapahtuu ohjelmistojen välisessä kommunikaatiossa virheitä tai kommunikaatio ei toimi lainkaan. Ongelmia syntyy kun eri ohjelmistojen käyttämä tiedostomuoto pitää sisällään tietoa esimerkiksi rakenteen ominaisuuksista, kuten kansilaatan paksuudesta ja raudoituksesta, mutta tieto on tallennettu sellaisella tavalla tai sellaiseen paikkaan tiedostossa ettei toinen ohjelmista kykene sitä tulkitsemaan. [36].

Ratkaisuna tiedonsiirrosta johtuviin ongelmiin on kehitetty IFC-standardi (Industry Foundation Classes). IFC-standardi on rakennusalan ja kiinteistönpidon käyttämä tiedonsiirtostandardi. IFC:n ajatuksena on luoda yhtenäinen käytettävästä ohjelmistosta riippumaton tiedonsiirtomuoto. IFC:n avulla käytettävä ohjelmisto pystyy tuottamaan tietomallista tietoa IFC-muotoon, josta toinen ohjelmisto pystyy poimimaan tarvitsemansa tiedot ja tulkitsemaan ne omassa natiivimuodossaan, eli kääntämään tiedon omaan järjestelmäänsä sopivaksi. Sovellusten välille syntyy siis rajapintoja, joita hyödyntämällä erilaisten suunnitteluohjelmien tuottama tieto tietomallin sisällä saadaan jaettua eri osapuolten välillä. [36]. Ongelmia ja kehitettävää löytyy kuitenkin vielä. Esimerkiksi IFC-muotoon käännettäessä kaikki natiivimallin rakenneosat eivät välttämättä tallennu oikein tai jäävät puuttumaan kokonaan IFC-mallista ja tämän johdosta menetetään tietoa. Toinen IFC-tiedoston ominaisuuksista johtuva haaste on, ettei muuntaminen takaisin natiivimuotoon aina tuota haluttua tulosta ja tietoa voidaan jälleen menettää.

Infra-alan tarpeisiin on luotu myös omia tiedonsiirtomuotoja, kuten LandXML ja siihen pohjautuva Inframodel. LandXML on standardi, joka kuvaa infran suunnittelutietoa laajana puumaisena tiedostorakenteena. XML-dokumentin tavoin LandXML-tiedostossa

on tiedolle annettu sen sisältöä kuvaava merkitys. Inframodel on jatkokehitetty tästä standardista lisäämällä siihen rakenteita kuvaavia ominaisuuksia, kuten väylän viivamalli ja poikkileikkausparametreja. Kummatkin standardit kuvaavat infrahankkeen suunnittelun tuottamaa tietoa yleisellä ohjelmistoriippumattomalla kielellä. [41].

Tiedonsiirtomuodoista riippumatta tärkeintä on hankkeen osapuolten välinen kommunikaatio. Oikein rakennettu tietomalli ja tiedonsiirron mahdollistavat rajapinnat luovat puitteet osapuolten väliselle lopputuotetta parantavalle kommunikaatiolle. [37]. Esimerkiksi tietomallin kolmiulotteisuus auttaa osapuolia hahmottamaan suunnitelman kokonaisuuden. Samalla tietomalli mahdollistaa rakenneleikkausten esittämisen halutusta kohdasta rakennetta, joiden avulla suunnitteluratkaisuja voidaan tarkastella.

#### 2.2.4 Tietomalliselostus

Tietomalliselostus tulee liittää aina osaksi luovutettavan tietomallin aineistoa. Selostuksen tärkein tehtävä on kuvata mallin sisältö mallin luovutushetkellä. Selostuksesta tulee ilmetä mallin mahdollisesti sisältämät poikkeamat, jotka eivät vastaa tietomallille asetettuja vaatimuksia. Lisäksi kirjataan ylös ohjelmistojen rajallisuudesta aiheutuneet ongelmat mallissa tai siirtotiedoissa. Tietomalliselostus siis sisältää tiedot mallin käyttöön ja luotettavuuteen liittyvistä asioista ja sen avulla ulkopuolinen taho saa selvyuden mallin valmiusasteesta, rakenneosien nimeämiskäytännöstä ja mallin rakenteesta. [42].

Siltojen tietomalliohjeessa [3, s. 54] on esitetty esimerkki tietomalliselostuksesta ja listattu asiat, jotka selostuksessa tulee esittää. Tämän listan mukaisesti tietomalliselostuksesta tulee selvittää:

- kohde
- mallin sisältö
- liittyvät referenssit / tekniikkalajien mallit
- käytetty ohjelmisto ja sen versio sekä tiedostomuoto
- koordinaatisto ja korkeusjärjestelmä sekä lisäksi mahdollisen paikalliskoordinaatiston sijainti
- kuvaus osien nimeämisestä ja numeroinnista
- mahdolliset puutteet ja keskeneräisyydet mallissa suhteessa kyseisen vaiheen vaatimuksiin eli osien status-tieto
- mahdollisen väylägeometrian ja muiden liittyvien rakenteiden tarkkuus tietomallissa
- mallin tarkastuksen tilanne mm. raudoituksen törmäys-tarkastuksen tilanne
- tuotemallin laadunvarmistus
- mallin tarkastus- ja hyväksymistiedot ja
- muut huomioitavat asiat. [3, s. 54].

Tietomalliselostuksen tärkein tehtävä on välittää eri osapuolten välillä tietoa tietomallin sisällöstä. Näin varmistetaan osapuolten käsitys tietomallin sisältämästä aineistosta ja taa-

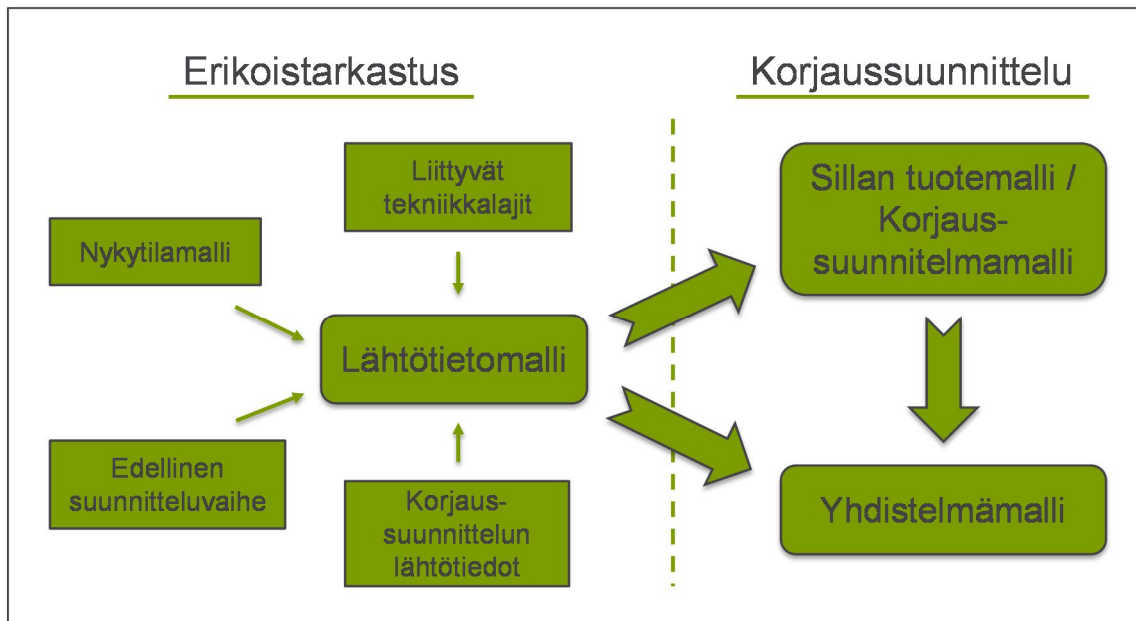


taan osapuolille mahdollisuus käyttää tietomallia sen laatijan olettamalla tavalla. Tietomalliselostus on tärkeä asiakirja tietomallin käytettävyyden kannalta ja se tulee aina liittää tietomallin yhteyteen.

### 2.3 Sillan tietomallin muodostaminen

Luvussa 2.3 käsitellään tietomallin muodostamista siltarakenteesta, kun kyseessä on tietomallinnettava korjaushanke.

Taustateorian luonteelle vastaisesti tämän luvun yhteydessä on esitetty tutkimuksen tekijän muokkaamaa aineistoa. Tämä oli kuitenkin välttämätöntä tutkimuksen sujuvan luettavuuden ja rakenteen kannalta. Tietomallin muodostaminen jaetaan yksinkertaistusti kahteen eri vaiheeseen, erikoistarkastukseen ja korjaussuunnitteluun. Tietomallin muodostaminen on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 11). Kuva on muokattu Siltojen tietomalliohjeesta [3] korjaushankkeeseen paremmin soveltuvaksi ja on syytä esittää jo tässä vaiheessa selventämään tietomallin sisältöä korjaushankkeen eri vaiheissa. Kuvassa esitettyjen laatikoiden sisältöä on kuvattu tarkemmin tämän luvun alaluvuissa. Alalukujen sisältö perustuu kirjallisuustutkimukseen, eikä sisällä tutkimuksen tekijän omaa kehitystyötä.



**Kuva 11:** Tietomallin muodostuminen sillan korjaussuunnittelussa, muokattu lähteestä [3, s. 12].

Erikoistarkastuksen yhteydessä kootaan olemassa olevasta rakenteesta lähtötietomalli, joka sisältää sillan nykytilamallin, edellisten suunnitteluvaiheiden materiaalin, liittyvien tekniikkalajien tiedot ja korjaussuunnittelun lähtötiedot. Korjaussuunnitteluvaiheessa erikoistarkastuksen tuottaman lähtötiedon perusteella tehdään sillan tuotemalli eli korjaussuunnitelmamalli. Korjaussuunnitelmamallin ja lähtötietomallin avulla luodaan koko siltapaikkaa kuvaava yhdistelmämalli. [3].

### 2.3.1 Nykytilamalli

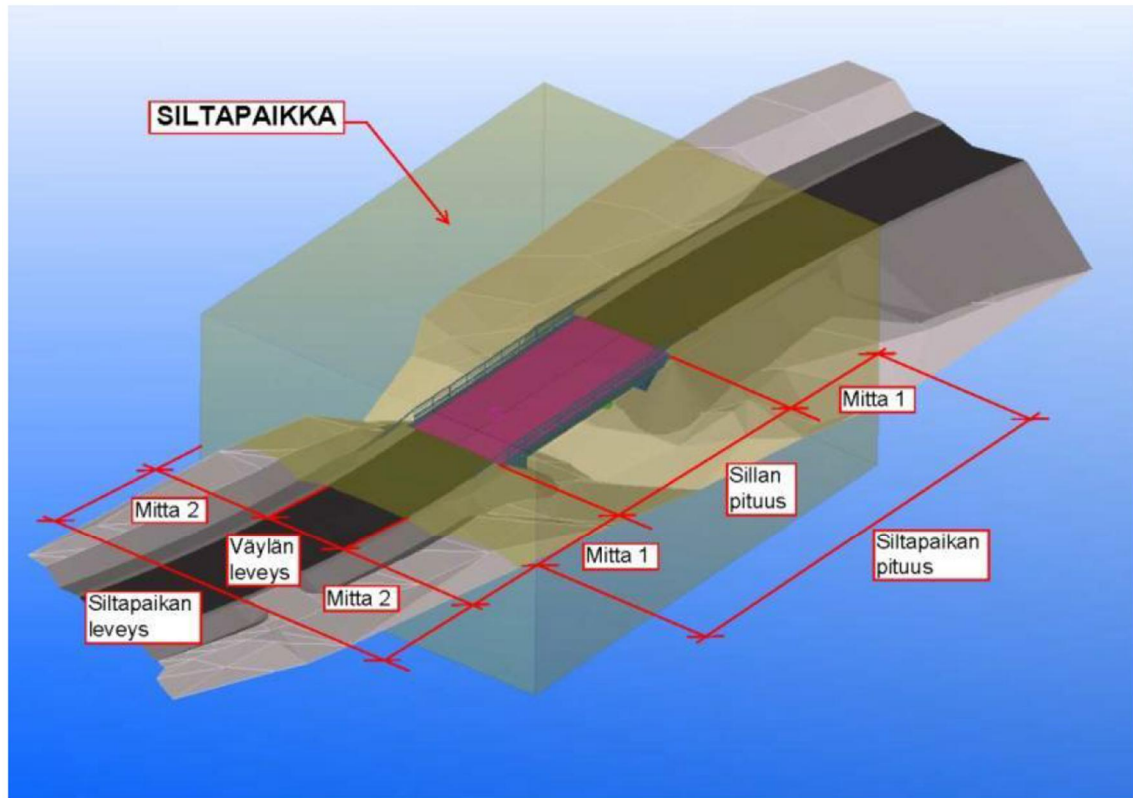
Nykytilamalli kuvaa siltarakenteen ja siltapaikan ympäristön nykyistä tilaa. Nykytilamalli ei sisällä mitään suunniteltua aineistoa. [3]. Siltapaikkaa kuvataan riittävän laajasti, jotta esimerkiksi sillan korjauksen yhteydessä mahdollisesti muuttuva väylän taseaus saadaan sovitettua sillan ulkopuolella väylän nykyisen tasauksen korkoon. Siltapaikan laajuus on määritelty alla olevan taulukon (Taulukko 3) ja kuvan (Kuva 12) mukaisesti [4, s.16]. Siltapaikan laajuuden määrittämistä voidaan pitää ohjeellisena. Tärkeintä on saada kuvattua nykytilamallissa sillan korjaamiseen olennaisesti liittyvät seikat, kuten tien taseaus, luiskat ja keilat sekä kaapelien sijainti, riittävän laajalta alueelta.

**Taulukko 3:** Siltapaikan ohjeellinen laajuus siltapaikkaluokan mukaisesti [4, s. 16].

<b>Siltapaikkaluokka</b>	<b>luokka I</b>	<b>luokka II</b>	<b>luokka III</b>	<b>luokka IV</b>
Siltapaikan pituus - mitta 1 (*)	Sillan pituus tai $\geq 110$ m	Sillan pituus tai $\geq 90$ m	Sillan pituus tai $\geq 70$ m	Sillan pituus tai $\geq 50$ m
Siltapaikan leveys - mitta 2 (**)	2x väylän leveys tai $\geq 40$ m	2x väylän leveys tai $\geq 30$ m	2x väylän leveys tai $\geq 20$ m	2x väylän leveys tai $\geq 10$ m

\*) etäisyys sillan päästä alkaen, kuitenkin vähintään tiepenkereen korkeus, pituudeksi valitaan suurin

\*\*) etäisyys ylittävän väylän reunasta alkaen, kuitenkin vähintään tiepenkereen korkeus x 2, leveydeksi valitaan suurin



**Kuva 12:** Siltapaikan määrittäminen [4, s. 16].

Nykytilamallin sisältämä aineisto koostuu seuraavista tiedoista:

- **rakenteet ja rakennukset**
- **maastomalli**
- **väylät ja väylärakenteet**
- **kunnallistekniikka**
- maaperämalli
- kaavoitustiedot
- ympäristötiedot
- mahdollinen muu aineisto. [4, s. 17].

Korjaussuunnittelun kannalta olennaisimmat lähtötiedot on lueteltu luettelossa ensimmäisenä ja lihavoitu. Muuta luettelon aineistoa täydennetään tapauskohtaisesti nykytilamalliin, mikäli hanke niin vaatii.

Siltaan kohdistuvien korjaustoimenpiteiden laajuudesta ja hankekohtaisesti sovitusta seikoista riippuen siltapaikan nykytilamalli voi koostua suppeimmillaan sillan alkuperäisistä suunnitelmista täydennettynä tarkemittauksilla. Luvussa 2.4 on kuvattu laajemmin eri keinoja olemassa olevan siltarakenteen lähtötietojen tuottamiseen. Laajimmillaan siltarakenteesta ja siltapaikasta laaditaan nykytilaa kuvaava 3D-malli.

### 2.3.2 Liittyvät tekniikkalajit

Liittyvien tekniikkalajien aineistolla tarkoitetaan siltapaikalla suunniteltavia muita tekniikkalajeja. Olemassa olevat siltapaikan rakenteet, joille ei tehdä muutoksia korjauksen yhteydessä, kuuluvat nykytilamallissa esitettävään aineistoon.

Liittyvien tekniikkalajien aineistoon kuuluvat vain varsinaisen sillan korjaussuunnittelun ulkopuoliset suunnitelmat. Aineisto koostuu seuraavista suunnitelmista:

- siltaan liittyvät väylät
- siltaan liittyvät muut rakenteet
- valaistus ja sähköistys
- telematiikka
- varaukset ja läpiviennit
- kuivatusjärjestelmät
- vesihuoltojärjestelmät
- energian siirtojärjestelmät
- sillan ympäristösuunnitelmat
- muut mahdolliset suunnitelmat [3, s. 16].

Kunkin kyseessä olevan tekniikkalajin suunnittelija toimittaa aineistonsa lähtötietomallia varten niiltä osin kuin ne vaikuttavat sillan korjaussuunnittelijan työhön. Aineisto toimitetaan väylien osalta sovittuun koordinaatistoon sidottuina pintamalleina, 3D-viivoina ja taulukkomuotoisena numerotietona. Tilavarausta tarvitsevat kuivatus-, vesihuolto- ja energiansiirtojärjestelmät mallinnetaan tilavuusobjekteina. Sähkölaitteet ja siltapaikan sähköistys ilmoitetaan laitteen pistemäisenä sijaintina koordinaatistossa sekä laitteen tietoina. [3]. Tietojen tarkkuuden tulee vastata rakennussuunnitteluvaiheen tietoja, mikäli aineistoa käytetään suoraan korjaussuunnittelun lähtötietona [4].

### 2.3.3 Edellisen suunnitteluvaiheen aineisto

Edellisen suunnitteluvaiheen aineisto koostuu sillan suunnitelmista, jotka on laadittu edellisessä suunnitteluvaiheessa [3]. Olemassa olevaa siltaa korjattaessa aineisto koostuu sillan alkuperäisistä suunnitelmista. Jos siltaa on jo aiemmin korjattu, aineisto koostuu aiemmista korjaussuunnitelmista ja toteutettuja korjauksia kuvaavista toteumapiirustuksista. Suunnitelmat liitetään osaksi lähtötietomallia ja huomioidaan mahdollisesti tehtyjen korjausten vaikutus rakenteen geometriaan nykytilamallissa.

### 2.3.4 Korjaussuunnittelun lähtötiedot

Korjaussuunnittelun lähtötiedot kohdan alle kootaan erikoistarkastuksen tuottamaa aineistoa. Erikoistarkastuksen tuottamaa materiaalia ei ole varsinaisesti kommentoitu tai ohjeistettu tietomallintamasta tai lähtötietojen kokoamista koskeissa ohjeissa. Erikoistarkastuksen tuottaman materiaalin kokoaminen osaksi tuotettavaa kokonaisuutta on tämän tutkimuksen laatijan ehdotus.

Erikoistarkastuksen yhteydessä tuotettua tietoa rakenteen kunnosta voidaan myös liittää osaksi tietomallia. Esimerkiksi kohdat, joista betoninäytteitä on otettu, voidaan mallintaa ja liittää objektin materiaaliominaisuuksiin tai UDA-tietoihin tieto rakenteen kunnosta. Suurin osa korjaussuunnittelun lähtötiedoista on kuitenkin järkevää pitää perinteisessä asiakirjamuodossa, jota korjaussuunnittelija pystyy hyödyntämään. Esimerkiksi betonipeitemittauksen tuloksia ei saada sidottua malliin jokaiselle teräkselle erikseen, vaan korjaussuunnittelija tulkitsee mittausaineiston perusteella terästen sijainnin rakenteessa.

### 2.3.5 Tuotemalli eli korjaussuunnitelmamalli

Sillan tuotemalli eli korjaussuunnitelmamalli pohjautuu siltapaikasta laadittuun lähtötietomalliin. Lähtötietomallin sisältämää tietoa sillan nykytilasta käytetään sillan geometrian mallintamiseen ja erikoistarkastuksen tuottamaa tietoa korjaussuunnitelman lähtötietona. Korjaussuunnitelmamalli esittää kaikki sillalle tehtävät toimenpiteet ja korjaukset eli kuvaa sillan korjaussuunnitelman tietomallina. Malliin mallinnetaan rakenteet sellaisina kuin ne tullaan toteuttamaan korjauksen yhteydessä.

Korjaussuunnitelmamallissa siltarakenne mallinnetaan kokonaisuutena pääpiirteittäin tai vähintään niiltä osin, joihin korjaustoimenpiteet kohdistuvat. Rakennneosien, joihin kohdistuu korjaustoimenpiteitä, mallinnustarkkuus vastaa uudisrakenteen rakennussuunnitteluvaiheen tasoa. Malliin mallinnetaan korjauksen yhteydessä tehtävät uudet rakenteet sekä olemassa olevat rakenteet, sillan varusteet ja laitteet, nykyinen raudoitus, niiltä osin kun sitä hyödynnetään uusissa rakenteissa ja uuden raudoituksen. Olemassa olevan rakenteen purettavat osat erotellaan mallissa muusta rakenteesta, käytettävän ohjelmiston mahdollistamia työkaluja käyttäen. Vanhan rakenteen purkamisen suunniteltu purkuraja mallinnetaan ja käytettävien ankkuriterästen vaatimat porareiät mallinnetaan rajapintaan. Mallin tulee myös sisältää immateriaalinen tieto, kuten hyötyleveys ja alikulkukorkeus. [3].

Korjaussuunnitelmamalliin sisällytettäviä asioita ovat:

- nykyiset rakenneosat riittävällä tarkkuudella ja uudet korjauksen yhteydessä toteutettavat rakenneosat
- purettavat rakenneosat sekä varusteet ja laitteet erotellaan muista rakenneosista, esimerkiksi käyttämällä phase-jakoa
- suunniteltu rakenteen purkuraja
- uusi raudoitus ja vanhan rakenteen raudoitus, niiltä osin kun se liittyy uusiin rakenneosiin
- tartuntaterästen porareiät
- varusteet ja laitteet
- immateriaalinen tieto, kuten kaistavaraukset työaikana ja sillan perustietoihin kuuluvat mitat, joita ovat muun muassa hyötyleveys ja alikulkukorkeus
- väylän tasauksen muutokset ja muutoksen tasaaminen olemassa olevaan väylään, ellei korjaushanke ole osana väylähanketta johon kuuluu väyläsuunnittelu

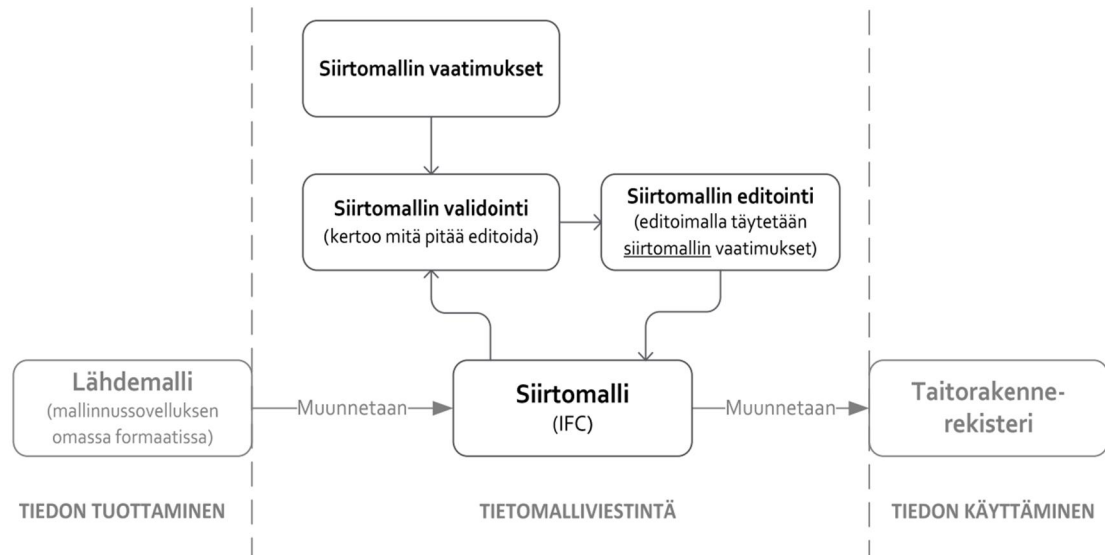


Mikäli sillankorjaus on osana laajempaa väylän parannushanketta, voidaan sillan korjaussuunnitelma yhdistää osaksi laajempaa tietomallikokonaisuutta. Laajempaa kokonaisuutta kuvataan yhdistelmämalli – termillä. Termi tarkoittaa sillan yhdistelmämallia laajempaa infrarakenteen yhdistelmämallia, jossa kuvataan mallipohjaisesti infrarakenne kokonaisuutena. Kuten siltapaikan sillan yhdistelmämallissa, malliin on yhdistetty kaikki tekniikkalajit samaan kokonaisuuteen. Näin eri tekniikkalajien suunnitelmat voidaan sovittaa yhteen ja varmistua etteivät suunnitellut rakenteet törmää keskenään. Suurissa hankkeissa, joissa suunnitellaan useaa eri tekniikkalajia, yhdistelmämallin merkitys korostuu mahdollisten törmäysten ehkäisemiseksi. Yhdistelmämalli tulee laatia suunnittelun edetessä sovituin määraajoin, jolloin suunnitelmia voidaan muuttaa suunnittelutyön aikana mahdollisten suunnitelmien törmäysten paljastuessa. [3].

### 2.3.7 Ylläpitomalli

Ylläpitomalli tuotetaan sillan korjaussuunnitelmaa kuvaavan yhdistelmämallin ja toteutuneen korjausurakan perusteella laaditun toteumamallin pohjalta. Toteumamallista päivitetään yhdistelmämalliin rakenteet, joiden sijainti ylittää sallitut toleranssit tai rakenne poikkeaa muuten suunnitellusta. Ylläpitomallia käytetään siltarakenteen ylläpidon ja hoidon tarkoituksiin. Tulevaisuudessa ylläpitomallit tullaan tallentamaan taitorakennerekisteriin, josta tietomallien sisältämä tieto on siltojen ylläpitäjien käytettävissä. [3].

Jotta tietomallien sisältämää tietoa voidaan hyödyntää siltojen ylläpidossa, vaaditaan tietomallien tiedon tallentamista oikein ja yhdenmukaisesti taitorakennerekisteriin. Tietomallien sisältämä tieto viedään taitorakennerekisteriin siirtomallin avulla. Siirtomalli tuotetaan muuntamalla lähdemallin sisältö IFC-muotoon. Lähdemallina tulee käyttää suunnitelmamallia eli sillan korjaustöiden tapauksessa korjaussuunnitelmamallia päivitettyinä toteutunutta urakkaa kuvaavan toteumamallin tiedoilla. Alla olevassa kuvassa (Kuva 14) on esitetty tietomalliviestinnän prosessia, jolla tietomallin tietoa siirretään taitorakennerekisteriin. Tietomalliviestinnällä tarkoitetaan tiedon siirtämistä osapuolelta toiselle tietomallimuodossa. Tietomalliviestinnän onnistumisen kannalta on tärkeää ymmärtää eri työvaiheiden merkitys kokonaisuuden kannalta, jolloin taitorakennerekisteriin saadaan koottua luotettavaa ja oikeaa tietoa mallinnetuista silloista. Tietomalliviestintään tarvittavan siirtomallin luomiseen kuuluvat seuraavat osatehtävät: siirtomallin vaatimusten määrittely, siirtomallin validointi ja siirtomallin editointi. [3].



**Kuva 14:** Tietomalliviestinnän tehtävät [3, s. 38].

Siirtomallin eli ylläpitomallin vaatimukset on kuvattu Siltojen tietomalliohjeessa [3]. Annetut ohjeet koskevat siirtomallin sisältöä eivätkä varsinaista suunnittelun tuottamaa mallia. Suunnittelun aikana voidaan käyttää ohjelmistosidonnaista mallinnustapaa, kunhan siirtomallin luomisen yhteydessä täytetään sille asetetut vaatimukset. On toki järkevää pyrkiä jo suunnitteluvaiheessa huomioimaan ylläpitomallin vaatimukset turhan työn minimoimiseksi siirtomallia tuotettaessa. Ohjeessa on annettu vaatimukset siirtomallissa käytettävälle formaatille, tiedon sijainnille mallissa ja arvojoukoille. Siirtomallissa käytettävien arvojoukkojen kohdalla vaatimuksissa on esitetty muun muassa käytettävien rakenneosien nimet, materiaalitiedot ja pintakäsittelyt. [3].

Siirtomallin validointi tarkoittaa siirtomallin sisällön tarkastamista. Siirtomallin tulee täyttää sille asetetut vaatimukset, joita edellä kuvattiin. Validoinnin yhteydessä ei varsinaisesti tarkasteta suunnitelmia tai suunnitteluratkaisuja vaan tarkastetaan siirtomallin tietosisältöä ja tietorakennetta. Mahdollisesti havaitut virheet tai puutteet korjataan ennen kuin siirtomallin tietosisältö voidaan siirtää taitorakennerekisteriin. [3].

Siirtomallin editointi tehdään tarvittaessa, jos puutteita siirtomallissa havaitaan. Editoidessa voidaan esimerkiksi siirtää tietoa oikeaan tietokenttään tai korjata mahdollisia kirjoitusvirheitä rakenneosien numeroinnissa. Näin tieto on löydettävissä tulevaisuudessa taitorakennerekisteristä. [3].

### 2.3.8 Tietomalliselostus

Erityisen tärkeä tietomalliselostus on uudishankkeissa, joissa tietomallin sisältö tarkentuu ja päivittyy hankkeen suunnittelun edetessä esisuunnitteluvaiheesta rakennussuunnitelmaan. Yksittäisten mallin osien suhteen selosteessa tulee esittää osan paikkansapitävyys eli ”status”-tieto, jolloin osan tila välittyy seuraavaan suunnitteluvaiheeseen. [3].

Korjaushankkeessa tietomalliselostus tulee laatia lähtötietomallista, sillan tuotemallista eli korjaussuunnitelmamallista ja yhdistelmämallista. Tietomalliselostuksen sisältö



on kuvattu aiemmin tutkimuksessa (Luku 2.2.4). Tietomalliselostus on tärkeä osa kokonaisuutta, jotta tietomallia käyttävä taho pystyy muodostamaan käsityksen mallin sisällöstä ja siitä miten malli on rakennettu ja kuinka sitä tulee käyttää. Tutkimuksen liitteenä on esitetty esimerkkinä tietomalliselostuksesta case-kohteen korjaussuunnitelmamallista laadittu tietomalliselostus (Liite 1).

## **2.4 Lähtötietoaineiston tuottaminen olemassa olevasta rakenteesta**

Luvussa 2.4 esitellään erilaisia tekniikoita koota olemassa olevasta sillasta lähtötiedot sillan korjaussuunnittelun pohjaksi. Kappaleessa keskitytään tekniikoihin, joita käytetään apuna esimerkkikohteen mallinnuksessa.

Olemassa olevan rakenteen kartoittamiseksi on olemassa useita tapoja. Rakenteen mittojen ja muodon riittävän tarkka tulkinta on olennaista rakenteen nykytilamallin luomisen kannalta. Sillan korjaussuunnitelmamalli ja siltapaikan yhdistelmämalli pohjautuvat olemassa olevaa rakennetta kuvaavaan sillan nykytilamalliin, joka toimii korjaussuunnittelun pohjana sillan geometrian osalta. Tässä luvussa käsitellään myös erikoistarkastusvaiheessa tuotettavaa korjaussuunnittelun lähtötietoaineistoa.

### **2.4.1 Lähtötiedot toimenpiteittäin**

Riippuen olemassa olevaan siltaan kohdistuvista toimenpiteistä, sillasta tarvitaan erilaista lähtötietoaineistoa. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 4) on esitetty yleisimmät korjaustoimenpiteet sillan toiminnallisten puutteiden poistamiseksi ja sillan peruskorjaamiseksi. Lähteen luetteloon on lisätty sarake käytettävästä tekniikasta, jolla haluttu tieto saadaan tuotettua. Tietolähteinä käytetään siltapaikalla tehtäviä mittauksia, erikoistarkastuksen tuottamaa ja suunnitelmapiirustuksista tulkittavaa tietoa. Lähtötiedot esitetään dwg- tai IFC-tiedostomuodossa tai tekstinä asiakirjoissa.

Erikoistarkastuksen tulosten perusteella ratkaistaan korjauksen laajuus ja tarvittavat korjaustoimenpiteet tai poistettavat toiminnalliset puutteet. Lähtötietojen kokoaminen tehdään esimerkiksi tämän luvun esittelemillä tekniikoilla. Tekniikan valinnassa tulee ottaa huomioon siltaan kohdistuvat toimenpiteet ja huomioida toimenpiteiden vaatimukset lähtötietojen laajuudelle.

**Taulukko 4:** Lähtötiedot olemassa olevasta sillasta [4, s. 42].

	Toimenpide	Tarvittava tietosisältö	Tiedon tuottamistapa
Sillan toiminnallisen puutteen poistaminen	Sillan leventäminen omille perustuksille, uudisosa	- lähtötiedot uudiskohdetta vastaavasti	
	Sillan leventäminen, toimenpiteet vanhalle rakenteelle	- päällysteen tasaus - rakenteen mitat ja muoto - levennettävän reunan raudoitus - rakenteen kunto	Rakenteen mitat - laserkeilaus - fotogrammetria - takymetri
	Sillan vahventaminen	- päällysteen tasaus - koko siltarakenteen sijainti ja mitat - sillan suunnitelma-piirustukset - päällysrakenteen kunto	Rakenteen mitat - laserkeilaus - fotogrammetria - takymetri
Sillan peruskorjaus	Pintarakenteiden uusiminen	- päällysteen tasaus - kansilaatan yläpinnan kunto - pintarakenteiden rakennekerrokset	Rakenteen mitat - laserkeilaus - fotogrammetria - takymetri - siltatutkaus
	Reunapalkin uusiminen	- reunapalkin sijainti ja mitat - reunapalkin raudoitus - reunapalkin kunto	Rakenteen mitat - laserkeilaus - fotogrammetria - takymetri Raudoitus - profometri
	Päällysrakenteen korjaaminen	- koko siltarakenteen sijainti ja mitat - raudoitus ja mitatut betonipeitteet - päällysrakenteen kunto	Rakenteen mitat - laserkeilaus - fotogrammetria - takymetri Raudoitus - profometri
	Alusrakenteen korjaaminen	- koko siltarakenteen sijainti ja mitat - alusrakenteen raudoitus ja mitatut betonipeitteet - alusrakenteen kunto	Rakenteen mitat - laserkeilaus - fotogrammetria - takymetri Raudoitus - profometri
	Toimenpiteet varusteille ja laitteille	- kyseessä olevan rakenteen sijainti ja ominaisuudet - kuntotiedot	Rakenteen mitat - laserkeilaus - fotogrammetria - takymetri

### 2.4.2 Laserkeilaus

Laserkeilaamalla pystytään kartoittamaan ympäristöä nopeasti ja tarkasti, joten laserkeilattu pistepilviaineisto toimii hyvänä lähtötietona rakenteen mitoista mallinnettaessa rakenteen nykytilamallia. Laserkeilaamalla pystytään kartoittamaan rakenteen tarkka muoto ja sijainti kaikilta näkyviltä pinnoilta, kolmiulotteiseen pistepilvi muotoon.

#### Toimintaperiaate

Laserkeilain lähettää lasersäteen mittalaitteesta, jonka avulla keilain määrittää etäisyyden mitattavaan kohteeseen. Kun tiedetään vaaka- ja pystykulma, joissa säde lähti liikkeelle keilaimesta, pystytään määrittämään kolmiulotteinen pistepilvi, jossa jokaisella pilven pisteellä on oma xyz-koordinaattinsa suhteessa mittalaitteeseen tai globaaliin koordinaatistoon. Mittaus suoritetaan koskematta kohteeseen, samankaltaisesti kuin käytettäessä prismatonta takymetriä. [43, s. 1].

Laserkeilaimet voidaan luokitella niiden toimintaperiaatteiden mukaisesti usealla eri tavalla. Yleisesti siltojen laserkeilaamiseen soveltuvina keilaimina voidaan pitää maalaserkeilaimia, joiden mittaustekniikka perustuu vinopeilin ja jatkuva-aaltoisen lasersäteiden avulla toteutettuun kupolimaiseen mittaustapaan. Maalaserkeilain (terrestriallinen laserkeilain) soveltuu käytettäväksi 1-300 m mittausetäisyydellä ja yleisesti sen mittaustarkkuutena voidaan pitää alle 2 cm [44, s. 1]. Tarkkuus tosin heikkenee matkan funktiona. Tällä keilaintekniikalla kyetään mittaamaan jopa noin 1 000 000 pistettä sekunnissa [45].

Toimintaperiaatteeltaan jatkuva-aaltoinen laserkeilain lähettää lasersädettä jatkuvasti mittauksen aikana. Etäisyyden määrittäminen perustuu lähetetyn ja vastaanotetun säteilyn vaihe-eroon, jonka keilain mittaa. Vaihe-eron perusteella keilain määrittää etäisyyden keilaimen ja mitatun kohteen välillä. [43; 44; 46]. Lasersäde lähetetään ja vastaanotetaan peilin avulla, jolloin lasersäde saadaan suunnattua laitteen rungon rajoituksia lukuun ottamatta 360° laitteen ympärille. Peilijärjestelmä liikuttaa sädettä vertikaalisuunnassa ja laitteen runkoa kiertämällä sädettä liikutetaan horisontaalisuuntaan. Kun lasersäteiden vaaka- ja pystykulmat suhteessa mittalaitteeseen tunnetaan, saadaan jokaiselle mitatulle pisteelle määritettyä xyz-koordinaatit. [46].

#### Laserkeilauksen tuottama aineisto ja sen jatkokäsittely

Pistepilviaineistoa joudutaan käsittelemään mittauksen jälkeen pistepilven suuren tiedostokoon pienentämiseksi ja hajapisteiden poistamiseksi. Laserkeilatun siltarakenteen pistepilvi saattaa sisältää miljoonia pisteitä, joista osa voidaan suodattaa pois tiedostokoon pienentämiseksi mittauksen tarkkuuden kärsimättä. Esimerkiksi tasaisista pinnoista pisteiden muodostamaa verkkoa voidaan harventaa pinnan muodon tulkinnan siitä kärsimättä. Osa pisteistä ei kuvaa rakennetta lainkaan, koska lasersäde on esimerkiksi osunut esteeseen mittauksen aikana. Nämä kasvillisuudesta tai muista esteistä johtuvat hajapistteet suodatetaan pois aineistosta.

Koska pistepilviaineisto kuvaa vain pintaa, johon lasersäde on osunut, joudutaan samasta rakenteesta tekemään useita mittauksia eri mitta-asemista katvealueiden välttämiseksi. Katvealueilta vältetään kun mittaus tehdään riittävän usealta mitta-asemalta. [44]. Erityisesti vaurioituneen rakenteen pinnanmuodon keilaaminen voi olla haastavaa rapautuneen alueen epätasaisuuden takia, jolloin rakenteen pintaan jää helposti katvealueita. Vaurioituneita alueita rakenteesta saadaan esiin keilaamalla rakenne tarkemmin eli tiheämmällä pisteiden välisellä etäisyydellä kuin ympäröivä tavanomainen rakenne ja suorittamalla keilaus useasta eri suunnasta. Vaurioituneen alueen keilaus tulee suorittaa myös riittävän läheltä, koska pistepilven tarkkuus heikkenee matkan funktiona [43, s. 3].

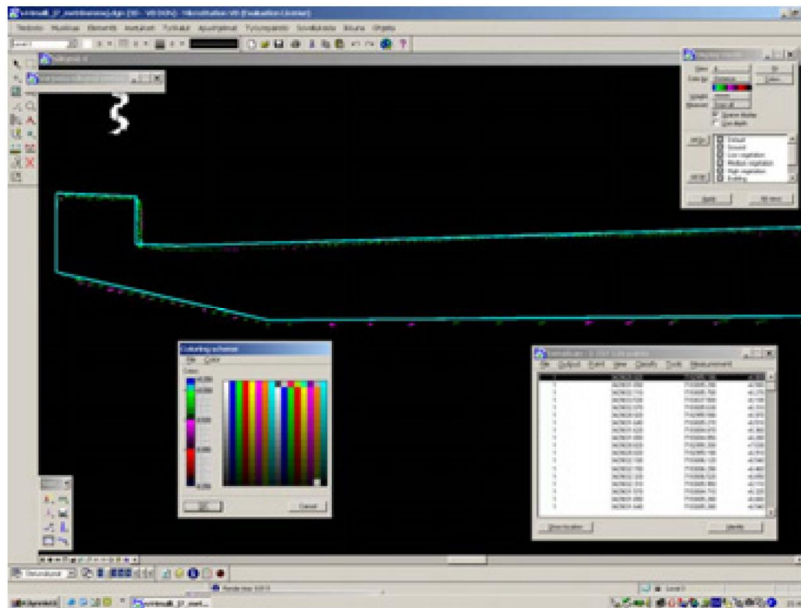
Yksittäisten mitta-asemien tuottamat pistepilviaineistot yhdistetään jatkokäsittelyvaiheessa. Yksittäisen pistepilven tulisi sisältää vähintään kolme yhteistä tähyistä. Parempaan mittatarkkuuteen päästään kun yhteisten tähyisten määrää kasvatetaan. Kun tähyisten sijainti tiedetään, voidaan erilliset pistepilvet yhdistää samaan pistepilvikohtaiseen koordinaatistoon. Parhaimmillaan menetelmällä päästään 1 – 3 mm tarkkuuteen pistepilviä yhdistettäessä. Toinen vaihtoehto pistepilvien yhdistämiseksi on limittää pistepilviä keskenään. Kun pisteistä kolmasosa limittyy viereisen pistepilven kanssa, jälkikäsittelyyn käytettävälle ohjelmistolle pystytään määrittämään kolme yhteistä pistettä, joiden perusteella rakenteen vastaavat pinnat yhdistetään samaan koordinaatistoon. Menetelmällä päästään 5 – 10 mm tarkkuuteen. [44]. Pistepilvien yhdistäminen vaatii aikaa ja ammattitaitoa erityisesti laajaa, useista mittapisteistä mitattua aineistoa käsiteltäessä.

Kun pistepilviaineisto on saatu yhdistettyä samaan pistepilvikohtaiseen koordinaatistoon, se voidaan sitoa haluttuun ulkoiseen koordinaatistoon tähyisten avulla. Kun tähyisten sijainti mitataan takymetrin avulla, saadaan tähyis sidottua haluttuun koordinaatistoon. Tunnettujen tähyispisteiden avulla koko pistepilviaineisto saadaan käännettyä haluttuun koordinaatistoon. [44].

Keilattua pistepilviä voidaan havainnollistaa liittämällä pistepilveen palaavan laser-säteen voimakkuudesta kertova pistekohtainen intensiteetti tai ottamalla digitaalinen valokuva keilattavasta kohteesta, jonka värejä käytetään yksittäisten pisteiden värinmäärittämisessä. Näin pistepilvestä saadaan havainnollisempi ja helpommin tulkittava. [39].

### **Pistepilven hyödyntäminen**

Pistepilviaineistoa voidaan käyttää sellaisenaan rakenteen mittojen ja muodon tarkasteluun. Laadunvarmistusmittauksissa pistepilven pisteitä voidaan verrata suoraan suunniteltuun pintaan ja todeta onko rakenteen geometria halutun kaltainen. [1]. Menetelmää on pilotoitu Älykäs silta – hankkeessa, jossa toteutetusta rakenteesta laserkeilattua pistepilveä verrattiin rakenteen mallinnettuun geometriaan. Alla olevassa kuvassa (Kuva 15) on esitetty tutkimushankkeen yhteydessä julkaistun raportin kuva, jossa alle 2 cm sisällä geometriamallin pinnasta sijaitsevat pistepilven pisteet on esitetty vihreällä ja alle 3 cm etäisyydellä olevat pisteet on esitetty violetilla. Kuva on hyvin havainnollinen tapa esittää mitattu mittapoikkeama suunnitellun ja toteutetun rakenteen välillä.



**Kuva 15:** Laserkeilatun mitta-aineiston vertaaminen sillan geometriamalliin [1, s. 54].  
(Kuva: Terra Solid Oy)

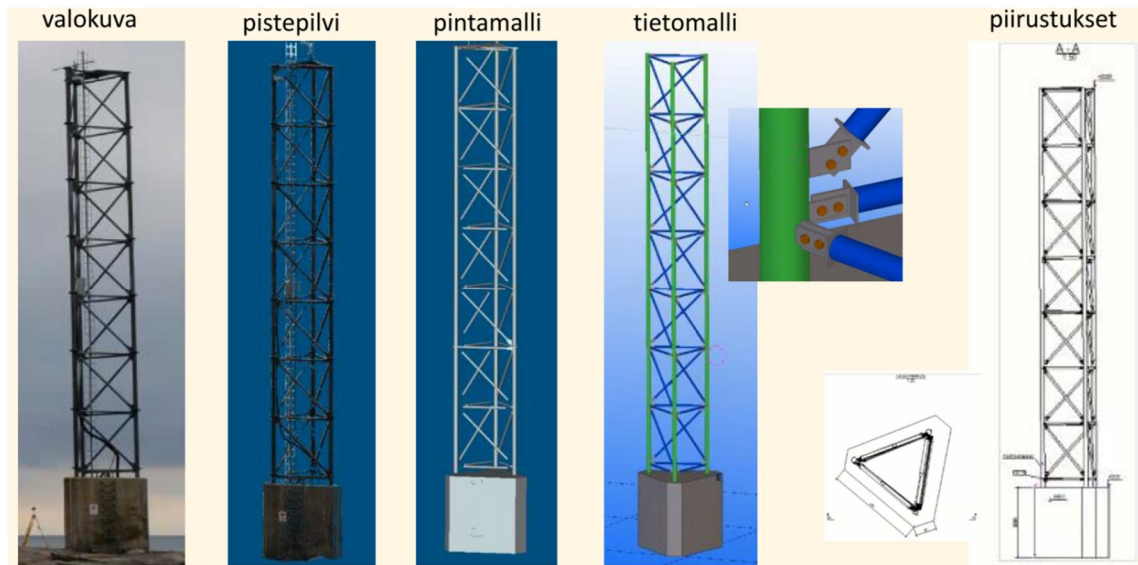
Pistepilveä voidaan hyödyntää myös mallintamisen pohjana monella eri tavalla. Yleisesti käytetyt mallinnustavat pistepilven pohjalta ovat viivamalli, pintamalli tai tilavuusmalli [1, s. 10]. Lisäksi pistepilvestä voidaan tuottaa keilatun pinnan kolmioverkkoja, tietomalleja tai virtuaalimalleja.

Keilatun pistepilven perusteella voidaan luoda kolmioverkko, jossa pistepilven pisteet ja viivat yhdistetään kolmioilla. Pisteet pyritään yhdistämään mahdollisimman pienillä kolmioilla, jolloin keilatun pinnan muoto saadaan kuvattua mahdollisimman tarkasti. Kolmioista muodostuu verkkomainen kuvaus keilatusta kohteesta. Mitä enemmän keilaa-malla tuotettuja pisteitä pistepilvi sisältää, sitä tarkempi kuvaus kohteesta saadaan esitettyä kolmioverkolla. Ohjelmistot pystyvät tuottamaan kolmioverkkoa pistepilvestä automaattisesti, kun käytetty pistepilvi on ensin asianmukaisesti käsitelty virheiden minimoimiseksi. Pinta, jota kolmioverkko kuvaa, voidaan esittää viivoina, pintana tai korkeuskäyrinä. [39].

Kolmioverkosta voidaan luoda pintamalli, joka kuvaa kappaleen pintaa. Pintamalli perustuu yleensä kolmioverkoilla luotuun pintaan. Pintamallin luominen suoraan pistepilvestä ei ohjelmistoteknisistä syistä ole käytännössä mahdollista. Pintamalli koostuu tasopinnoista, jotka on sovitettu lähtötietona käytetyn kolmioverkon muotoon. Pintamalli voidaan tuottaa ohjelmistojen automatisoiduilla toiminnoilla. Usein käytetty sovellus laserkeilatusta aineistosta tuotetun pintamallin käyttöön on maastomallin luominen. [47]. Pintamallia voidaan jatkojalostaa rakenteen geometriaa kuvaavaksi tilavuusmalliksi ja edelleen rakenteen ominaisuuksista tietoa sisältäväksi tietomalliksi. Tämän ketjun toteuttaminen vaatii käyttäjän tekemää mallinnustyötä, jota on kuvattu tarkemmin tutkimuksen luvussa 3.

Alla olevassa kuvassa (Kuva 16) on havainnollistettu aineiston muokkaamisen kulku pistepilvestä pintamalliksi ja edelleen tietomalliksi ja piirustuksiksi. Kuvassa on esitetty ristikkorakenteinen masto valokuvana, todellisesta rakenteesta keilattuna pistepilvenä,

pistepilvestä luotuna rakenteen pintamallina sekä pintamallin perusteella mallinnettuna tietomallina, tietomallista on lisäksi tuotettu suunnitelmapiirustuksia kohteesta.



**Kuva 16:** Mastorakenteen pistepilviaineisto ja jatkokäsittelyä [47]. (Kuva: VRT Finland Oy)

### 2.4.3 Vedenalaisten rakenteiden kunnon selvittäminen

Siltojen vedenalaisten rakenteiden kunnon selvittäminen erikoistarkastuksen yhteydessä on haastavaa, eikä rakenteita yleensä päästä tarkastamaan normaalien erikoistarkastusmenetelmien puitteissa. Vedenalaisten rakenteiden kuntoa voidaan kuitenkin selvittää esimerkiksi sukeltamalla tai akustisia tutkimusmenetelmiä eli kaikuluotusta käyttäen. Hyvään lopputulokseen päästään yhdistämällä menetelmät, jolloin kaikuluotaimella saadaan ohjattua sukeltajaa tarkastamaan katvealueet ja potentiaaliset vauriot rakenteessa. Samoin sukeltaja voi ohjata kaikuluotajaa tuottamaan tarkempaa luotausaineistoa halutuilta alueilta, esimerkiksi havaitun vaurioalueen kohdalta.

#### Sukellustarkastus

Perinteinen tapa selvittää vedenalaisten rakenteiden kuntoa on tehdä rakenteelle sukellustarkastus. Havainnot rakenteen kunnosta perustuvat sukeltajan näkö- ja tuntohavaintoihin sekä materiaalin pintatestauksiin ja mittauksiin. Tarkastus on syytä videoida myöhempää tarkastelua varten. Kuvayhteyden avulla sukeltajaa voidaan ohjeistaa tarkastamaan haluttuja osia rakenteesta tarkemmin, mikäli tarpeellista. Tarkasteltavat rakenneosat on syytä puhdistaa lietteestä ja liasta, jotta rakenteen kunto on kunnolla havaittavissa. [12].

Yleensä sukellustarkastuksella ei saada kattavaa yhtenäistä kuvaa rakenteesta, vedenalaisen rajoitetun näkyvyyden takia. Lisäksi muun muassa voimakas veden virtaus häiritsee sukeltajan työskentelyä. [12]. Tarkastuksen yhteydessä saadut pistemäiset havainnot rakenteen kunnosta kootaan vedenalaisten rakenteiden osalta lähtötietomalliin. Lähtötietomallissa kuvataan rakenteissa havaitut vauriot ja rakenteen kunto.

### Akustiset tutkimusmenetelmät eli kaikuluotaus

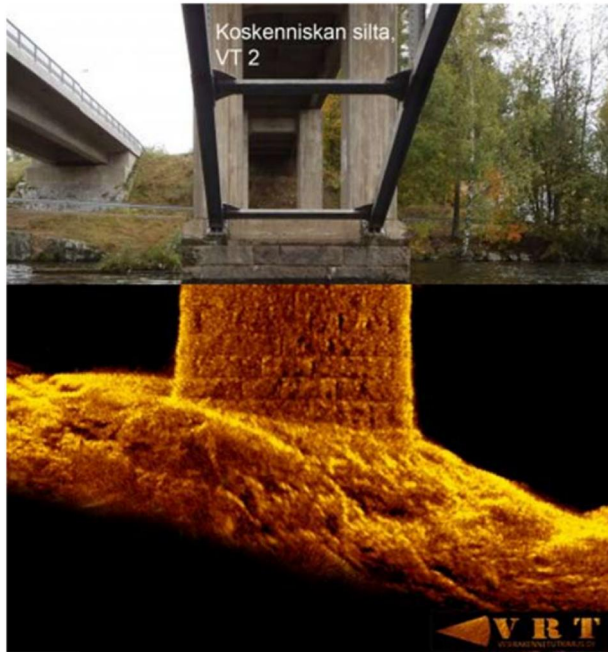
Kaikuluotaaminen perustuu äänisignaalin etenemiseen veden alla. Äänisignaali lähetetään ja vastaanotetaan kaikuluotaimesta. Riippuen käytettävästä tekniikasta kaikuluotain laskee lähetetyn äänen aallonpituuden ja etenemisajan perusteella rakenteen etäisyyden kaikuluotaimesta tai tulkitsee palaavan kaiun voimakkuutta. Havaintojen perusteella rakenteesta pystytään muodostamaan käytettävästä tekniikasta riippuen 2D-kuva tai piste-pilviaineisto. Äänen etenemiseen vedessä vaikuttavat useat muuttujat, joiden seurauksena myös tutkimustuloksiin syntyy hajontaa, ellei ilmiötä tiedosteta. Keskeisimmät tulosten laatuun vaikuttavat seikat ovat:

- Äänen etenemisnopeus.
- Äänen taajuus.
- Äänikeilan muoto ja aukenemiskulma.
- Akustinen jalanjälki.
- Kohteen muoto ja materiaali. [12].

Kaikuluotaimia on saatavilla useita erityyppisiä. Kohteen vaatimusten mukaan voidaan valita käyttötarkoitukseltaan sopivin kaikuluotaintyyppi. Kaikuluotaintyyppin valinta vaikuttaa myös kaikuluotaamalla saataviin lopputuloksiin. Taitorakenteiden tarkastusohjeessa on esitetty siltarakenteen kaikuluotaamiseen sopivia vaihtoehtoja, joita ovat skannaava kaikuluotaus, viistokaikuluotaus, monikeilaus. [12].

**Skannaava kaikuluotain** lähettää keilamaisen äänipulssin ympäristöönsä. Lähetettäviä äänipulsseja voi olla yksi tai useampia pulsseja. Pulssi lähtee kaikuluotaimen lähetimestä yleensä puolipallomaisesti joka suuntaan kohti skannattavaa aluetta, yleensä meren pohjaa. Kaikuluotain vastaanottaa palaavan kaiun ja tulkitsee äänen paluajan perusteella etäisyyden kohteeseen, josta ääni heijastuu takaisin. [48]. Palaavaa kaikua mittaa mittausanturin pyöriessä oman akselinsa ympäri, saadaan kartoitettua laajempi alue kerrallaan. Tarkempia tuloksia saadaan kuitenkin käyttämällä paikallaan pysyvää mitausanturia. [12, s. 96].

Skannaavaa kaikuluotainta voidaan käyttää esimerkiksi pohjatopografian kartoittamiseen tai rakenteiden tarkastamiseen. [12, s. 96]. Alla olevassa kuvassa (Kuva 17) on esitetty skannaavalla kaikuluotaimella tuotettua 2D-kuvaa, joka on yhdistetty veden yläpuolisten rakenteiden valokuvaan.



**Kuva 17:** Skannaavalla kaikuluotaimella tuotettu kuvamateriaali yhdistettynä vedenpäällisiin rakenteisiin [12, s.95]. (Kuva: VRT Finland Oy)

**Viistokaikuluotain** lähettää äänikeilan kaikuluotaimen sivuille viuhkamaisesti viistoon. Viistokaikuluotain lähettää äänisignaalin ja analysoi rakenteesta takaisin heijastuvan signaalin eli kaiun. Kaiun voimakkuuden perusteella voidaan tulkita rakenteesta valokuvamaista 2D-kuva-aineistoa. [49].

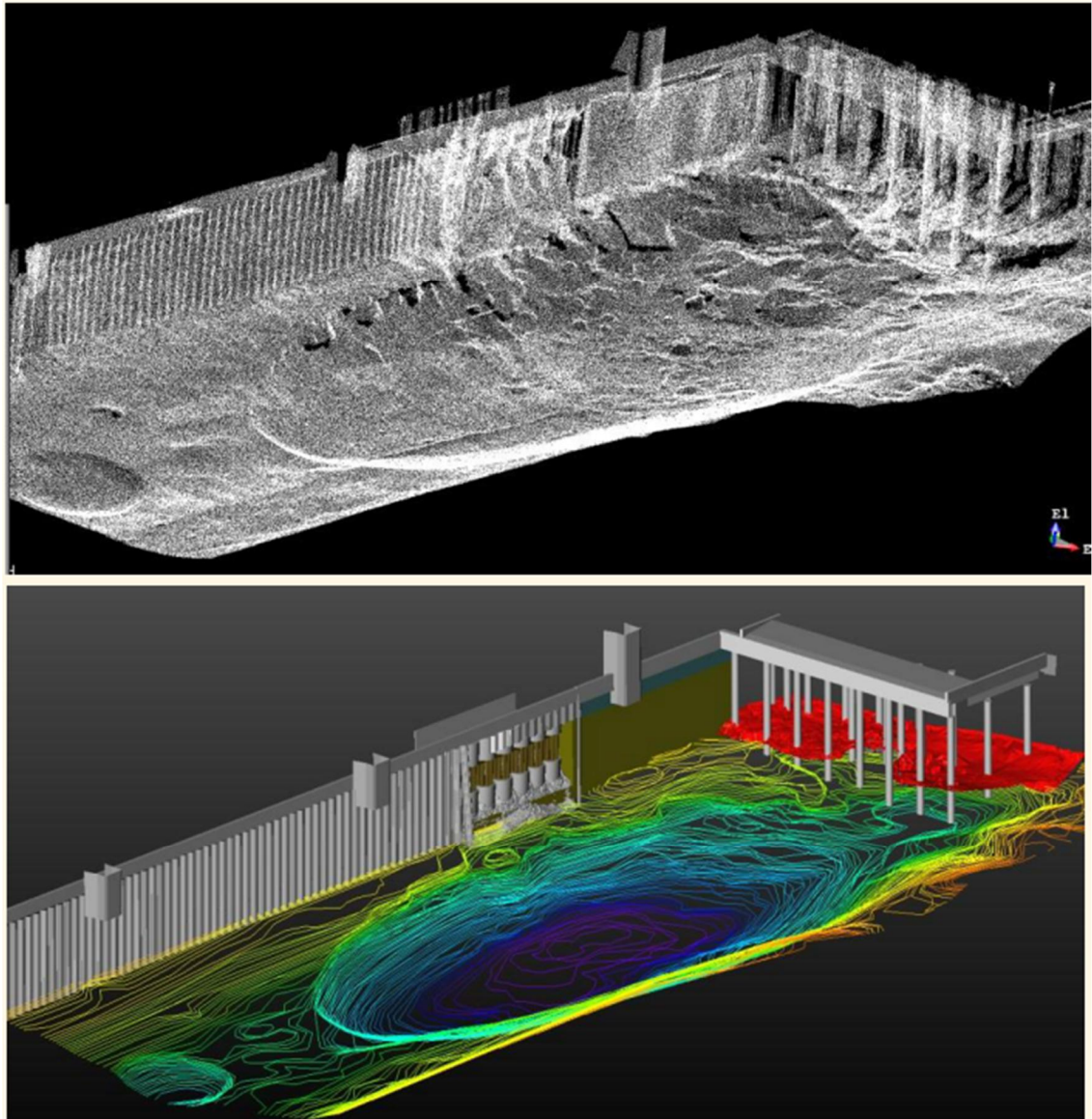
Viistokaikuluotaimen käyttö soveltuu hylkyjen ja vedenalaisten kohteiden paikantamiseen [12, s. 96]. Useimmat viistokaikuluotainjärjestelmät eivät pysty tulkitsemaan pinnan syvyysvaihtelua tarkasti. Jos pinnan muotoja halutaan analysoida tarkemmin, tulee käyttää rinnakkaista kaikuluotausjärjestelmää. 2D-kuvan perusteella voidaan mallintaa tarkasti lähinnä rakenteen ääriviivat. Viistokaikuluotaimella tuotetussa kuvassa kovat materiaali erottuvat yleensä vaaleina ja pehmeämpi materiaali tummana. [49].

**Monikeilain** lähettää useita äänikeiloja viuhkamaisessa muodossa kohti rakennetta. Monikeilainjärjestelmä lähettää äänikeilan pulssimaisesti ja mittaa sekä tallentaa äänen takaisin heijastumisajan eli kuinka kauan äänellä menee matkata rakenteen pinnalle ja takaisin, josta voidaan laskea matka rakenteen pintaan. Kun laitteen käyttämä mittauskulma ja etäisyys rakenteesta tunnetaan, voidaan jokaiselle viuhkan pisteelle laskea oma xyz-sijaintinsa. Jälkikäsittelyssä eri viuhkat yhdistetään toisiinsa, jolloin rakenteesta saadaan luotua samankaltaista 3D-aineistoa kuin laserkeilaimella. [48].

Monikeilaimella saadaan mitattua suhteellisen laajoja alueita nopeasti. Monikeilain on kuitenkin herkkä veden pyörteille ja virtauksille, jotka vääristävät tuotettua aineistoa. Jälkikäsittelyn merkitys korostuu, koska monikeilauksen tuottama aineisto on laaja ja se sisältää myös ei-toivottua tietoa sekä virhekaikuja. Oikein jälkikäsitelty monikeilaimen tuottama aineisto soveltuu hyvin siltojen vedenalaisten rakenteiden kartoittamiseen ja mallintamisen lähtötiedoksi. Laitteen tuottaman aineiston perusteella saadaan selville ra-



kenteen geometria ja tuotetusta pistepilvi-aineistosta nähdään mahdolliset vauriot rakenteen pinnassa. [12]. Monikeilaimen tuottamaa pistepilviaineistoa voidaan hyödyntää mallintamisessa samalla tavoin kuin aiemmin kuvattua (luku 2.4.2) laserkeilaimen tuottamaa pistepilveä. Alla olevassa kuvassa (Kuva 18) nähdään esimerkki kuinka kaikuluodattua pistepilviaineistoa on käytetty pintamallin luomiseen satama-altaan pohjan muodoista ja laiturirakenteista. Laiturirakenteet on mallinnettu ja pohjan muotoja on kuvattu korkeuskäyrien avulla.



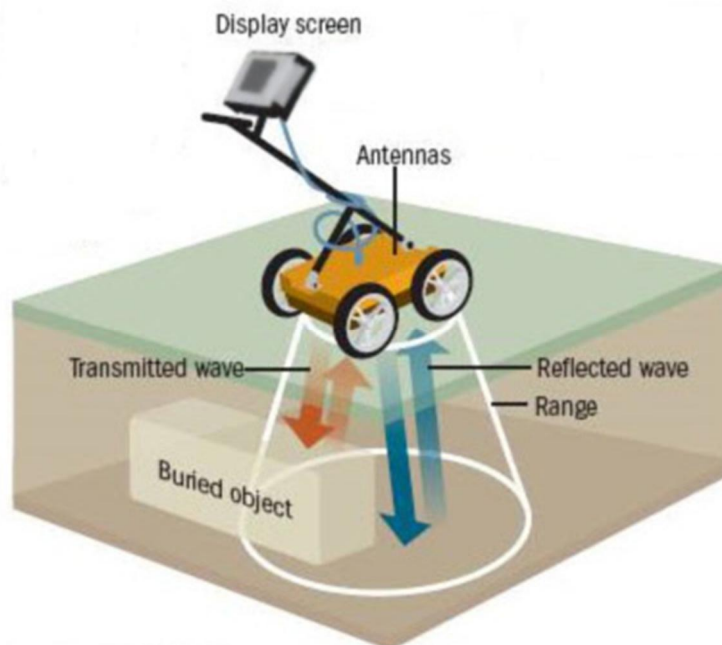
**Kuva 18:** Monikeilaimen tuottamaa pistepilviaineistoa ja aineistosta mallinnettu pintamalli [47]. (Kuva: VRT Finland Oy)

#### 2.4.4 Maa- ja siltatutkaus

Sillan kannen ja pintarakenteiden kuntoa voidaan tutkia ainetta rikkomattomalla tutkimusmenetelmällä, maa- tai siltatutkan avulla. Maatutka termiä käytetään tutkaukselle, joka tehdään sillan kannen ulkopuolella selvittäessä maaperän tai päällysteen kerroksia ja maanalaisia rakenteita. Siltatutka termi viittaa saman tekniikan käyttämiseen sillan kannen alueella. Siltatutkalla tutkaamalla voidaan selvittää pintarakenteiden rakennekerrosten rajapintojen ja kannen yläpinnan sijainti koko kannen alueelta paikallisten pintarakenteiden avausten lisäksi. Siltatutkalla voidaan selvittää myös kannen raudoituksen sijaintia ja betonipeitepaksuuksia. [12]. Maatutkista käytetään myös englanninkielistä lyhennettä GPR, Ground Penetrating Radar.

##### Toimintaperiaate

Yleisimmin maatutkana käytetty tutkalaite perustuu impulssitutkan toimintaperiaatteen. Impulssitutka lähettää sähkömagneettisen pulssin tutkittavaan kohteeseen, esimerkiksi sillan pintarakenteeseen. Pulssi lävistää sillan pintarakenteet ja kannen rakenteet. Osa pulssista heijastuu takaisin sähköisesti erilaisista rajapinnoista ja osa pulssista jatkaa matkaansa syvemmälle rakenteeseen. Sähköiset ominaisuudet poikkeavat toisistaan muun muassa rakenteen eri kerrosten rajoilla tai vesipitoisuuden muuttuessa vaurioituneella alueella. Heijastuvat tutkasignaalit kootaan laitteiston vastaanottimella. Mittausyksikkö mittaa ajan, joka signaalilta kului palata takaisin heijastavalta pinnalta ja signaalin amplitudin. [50]. Alla olevassa kuvassa (Kuva 19) on esitetty maatutkan toimintaperiaate ja tutkaan liittyvät osat.



**Kuva 19:** Maatutkan toimintaperiaate [51].

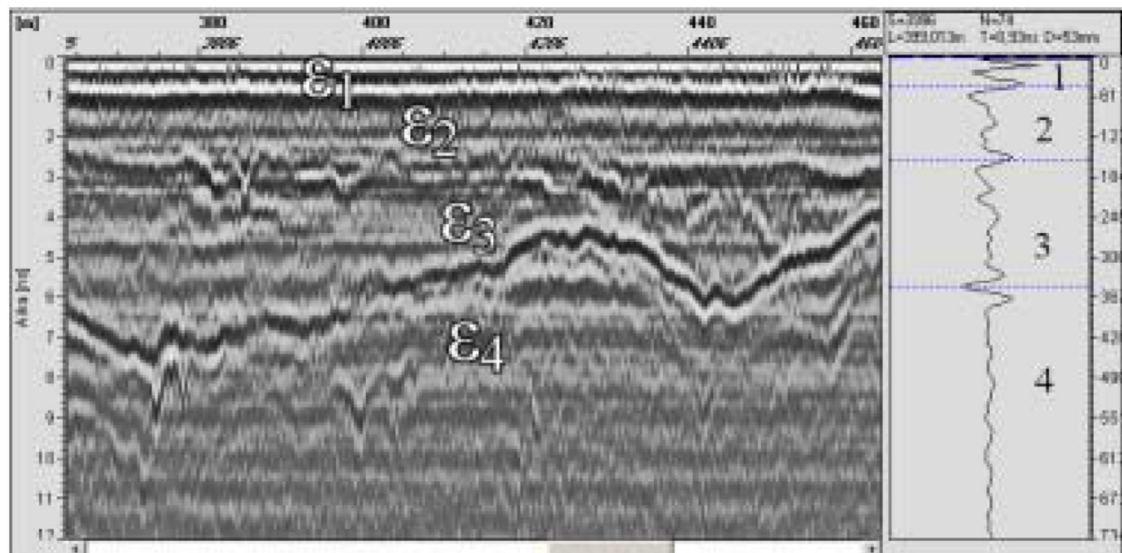
Impulssitutkan sähkömagneettisina pulsseina käytettävät sähkömagneettiset aallot ovat korkealla taajuusalueella, yleensä 10 – 3000 MHz. Taajuusalueella olevat sähkömagneettiset aallot kykenevät etenemään sähköisesti eristeisessä väliaineessa. Tutkasignaalin etenemiseen väliaineessa vaikuttavat tekijät ovat väliaineen sähkönjohtavuus ja dielektrisyys sekä magneettinen susceptibiliteetti. Suomen käytettyjen tiemateriaalien magneettisella susceptibiliteetilla ei ole käytännön merkitystä tutkasignaalin etenemiseen, joten ainoina muuttujina mittausten kannalta toimii väliaineen sähkönjohtavuus ja dielektrisyys. [52, s. 10].

Dielektrisyys kuvaa aineen sähköneristävyyttä toisin sanoen aineen kykyä varautua eli polarisoitua ulkoisen sähkökentän vaikutuksen alaisena. Dielektrisyysvakio eli suhteellinen permittiivisyys  $\epsilon_r$  on yksikötön suhdeluku, jonka avulla materiaalin permittiivisyyttä tyhjiöön verrattuna kuvataan. Esimerkiksi tislattun veden suhteellinen permittiivisyysluku on 81. Näin ollen, mitä enemmän tutkattava materiaali sisältää vettä, sitä suurempi materiaalin dielektrisyys on. [53].

Sähkönjohtavuus vaikuttaa tutkasignaalin vaimentumiseen. Mitä suurempi on tutkattavan materiaalin sähkönjohtavuus sen enemmän materiaali sisältää vapaita varauksia, jotka voivat liikkua materiaalissa. Ulkoinen sähkökenttä, joka tutkasignaalikin on, pyrkii siirtämään materiaalin vapaita varauksia. Kun tutkasignaali siirtää vapaita varauksia se vaimenee. Toisin sanoen mitä paremmin materiaali johtaa sähköä, sen enemmän siinä on vapaita varauksia ja sitä enemmän se vaimentaa tutkasignaalia. [52, s. 10].

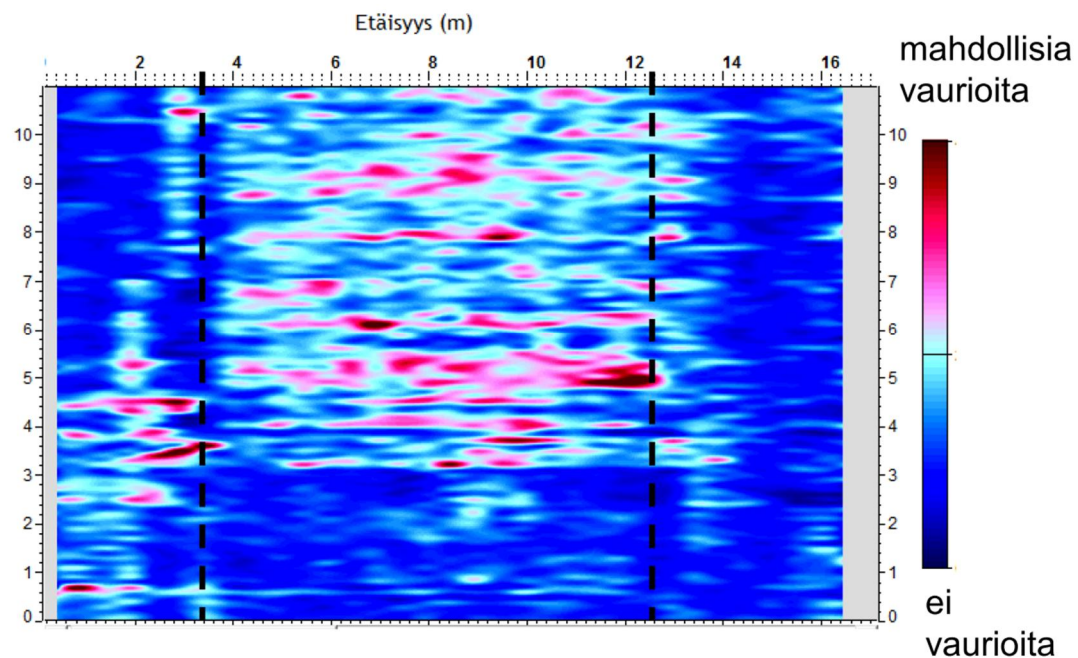
### **Maatutkan tuottama aineisto**

Käytettävästä tutkakalustosta riippuen tutkattavasta kohteesta saadaan tuotettua joko 2D- tai 3D-aineistoa [12]. Tuloksina esitetään usein amplitudin vaihtelu eri takaisinheijastusaikojen funktiona. Kun tutkimus suoritetaan useasta peräkkäisistä pisteestä, joiden sijainti tiedetään, saadaan tulkittua rakenteen rajapinnoista jatkuva profiili. Alla olevassa kuvassa (Kuva 20) on esitetty maatutkalla tutkattu profiili, jossa tummempina amplitudin tihentyminä nähdään rakennekerrosten rajat tierakenteessa. [52].



**Kuva 20:** Maatutkaprofiili tierakenteesta [52, s. 11].

Mitatun datan tulkinta ja käsittely vaativat erityistä ammattitaitoa, jotta rakenteen vaurioituneet kohdat ja rakennekerrosten rajapinnat saadaan nostettua aineistosta esiin. Aineistoa käsittelemällä voidaan yksittäisistä mittauskaistoista tuottaa myös tasokuvia sillan kannesta. Tasokuvassa voidaan esittää potentiaaliset vaurioituneet alueet, kuten alla olevassa kuvassa (Kuva 21). Tasokuva koostuu useasta vierekkäisestä mittauskaistasta, jotka on yhdistetty. Kuva on luotu syvyydeltä, josta tutkasignaali on heijastunut 3,5 nanosekunnin kuluttua, eli noin 16 cm syvyydeltä päällysteen pinnasta.



**Kuva 21:** Sillan kannen potentiaaliset vaurioalueet tummalla värillä korostettuna. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy/Roadscanners Oy)

Oikealla tulkinnalla tutkadatan perusteella pystytään kartoittamaan rakenteen vaurioita kuten rapautumista, terästen korroosiota tai vesivuotoja. Lisäksi tutkausta on käytetty

rakenteessa olevien terästen sijainnin ja betonipeitteen kartoittamiseen. Aineistosta voidaan myös erotella rakennekerrosten rajapintoja, joista voidaan tuottaa tasokuvia. Paras tulos tutkittavasta rakenteesta saadaan yhdistämällä tutkaus muihin rakennetta avaaviin tutkimuksiin. [50].

#### 2.4.5 Muut tavat tuottaa lähtötietoja

Tässä luvussa esitetään muutamia tapoja tuottaa lähtötietoja mallipohjaista korjaussuunnittelua varten, joita ei tämän työn case-kohteen yhteydessä kuitenkaan käytetty. Esiteltävät tekniikat kannatta pitää mielessä tulevia korjaushankkeita varten ja harkita niiden käyttöä osana lähtötietoaineiston hankintaa.

##### Fotogrammetria

Fotogrammetria on valokuvaukseen perustuvaa kolmiulotteista mittauksia. Kohdetta valokuvaamalla ja kuvia käsittelemällä pystytään muodostamaan kolmiulotteinen kuvaus kohteesta, jota voidaan käyttää muun muassa sillan nykytilamallin luomiseen.

Fotogrammetria voidaan jaotella käytettävän kameran sijainnin perusteella ilmasta tehtävään fotogrammetriaan ja lähifotogrammetriaan. Ilmasta käsin tehtävää fotogrammetriaa käytetään laajasti maanmittauksen sovelluksiin, perinteisesti kartta-aineistojen, korkeuskäyrästä sekä maaston 3D-pintamallien luomiseen. Lähifotogrammetrian sovelluksissa kamera on nimensä mukaisesti lähellä kohdetta ja liikuteltavissa kohteen ympärillä. Lähifotogrammetrian sovellukset soveltuvat myös siltarakenteen nykytilamallin luomiseen. Fotogrammetrian avulla luotavan kolmiulotteisen mallin muodostaminen voidaan jakaa kolmeen päävaiheeseen: kuvien tallentaminen, kuvien analysointi ja aineiston prosessointi. [54].

Kolmiulotteisen mallin tuottamiseksi kohteeseen kiinnitetään tähyksiä, joiden sijainti koordinaatistossa mitataan takymetrin avulla. Tämän jälkeen kohde valokuvataan useista eri suunnista. Kohteesta otetut valokuvat orientoidaan keskenään joko kohteeseen kiinnitettyjen tähyksien avulla tai kuvien käsittelyyn käytettävät ohjelmistot etsivät sopivat kiintopisteet valokuvien väliltä, joiden avulla kuvat liitetään toisiinsa. Valokuvat tulee kuvata limittää riittävästi, jotta mallinmuodostamiseen käytettävä ohjelmisto kykenee erottamaan yhteisiä tähyksiä tai kiintopisteitä riittävästi ja orientoimaan kuvat riittäväällä tarkkuudella. Vähintään kolme yhteistä pistettä kuvien välillä riittää lukitsemaan kuvat samaan koordinaatistoon [55]. Useampi yhteinen piste parantaa laatua, kun kuvien orientointi voidaan tarkastaa useammasta tunnetusta pisteestä. Kuvien orientoinnin jälkeen kuvat ovat samassa koordinaatistossa ja kuvien perusteella ohjelmisto kykenee rakentamaan kohteen kolmiulotteisen geometrian. [54]. Tämän jälkeen kuvista voidaan laskea vastinpisteitä ja näiden pisteiden sijainti koordinaatistossa. Kohteen pisteet voidaan orientoida lisäksi ulkoiseen koordinaatistoon, jolloin kohteen sijainti halutussa koordinaatistossa on tunnettu. [56].

Kuvista määritetyt pisteet muodostavat samankaltaisen pistepilven kuin laserkeilattu pistepilvi, jossa jokainen piste on sidottu koordinaatistoon. Pistepilven pisteistä pystytään

luomaan kohteen pinnan muotoja kuvaava kolmioverkko, jonka perusteella kohteesta voidaan luoda pintamalli. Pintamalliin voidaan myös lisätä pinnan tekstuuria otettujen valokuvien perusteella. [54]. Lisäksi tuotetusta aineistosta voidaan mitata pisteiden välisiä etäisyyksiä ja käyttää aineistoa näin rakenteiden mittojen tarkastamiseen.

### **Takymetrimittaukset**

Perinteisen takymetrimittauksen avulla voidaan tarkastaa olemassa olevasta rakenteesta haluttujen pisteiden sijainti koordinaatistossa. Rakenteen nykytilamalli voidaan luoda suunnitelmapiirustusten perusteella ja tarkastaa rakenteen mitat takymetrillä pistemäisenä otantana.

Takymetrin toiminta perustuu samaan tekniikkaan kuin laserkeilaimen, jota on esitelty aiemmin tutkimuksessa. Takymetri mittaa etäisyyden haluttuun kohteeseen ja kun laitteen etäisyyden mittaukseen käyttämät kulmat ovat tiedossa, saadaan piste määritettyä halutussa koordinaatistossa. Jotta mitattu piste saadaan sidottua haluttuun koordinaatistoon, tulee takymetri orientoida eli sitoa koordinaatistoon. Tämä vaatii vähintään kahden tunnetun pisteen etäisyyden ja kulmien mittaamista, mikäli takymetri on sijoitettu mielivaltaiseen eli vapaaseen asemapisteeseen. Jos mittaus suoritetaan tunnetusta pisteestä riittää orientointiin yksi tunnettu piste. Takymetrin sijainnin määrittämiseen voidaan käyttää myös GPS-teknologiaa. [57].

Takymetrit voidaan jaotella toimintaperiaatteensa mukaan joko prismallisiin tai prismattomiin takymetreihin. Prismaa hyödyntävä takymetri vaatii mittauksen suorittamiseen prisman, josta etäisyyden määrittämiseen käytettävä säde heijastuu takaisin mittalaitteeseen. Prisman etäisyys takymetristä saadaan mittaamalla säteen edestakaiseen kulkemiseen takymetrin ja prisman välillä tarvitsema aika. Prismattomat laitteet eivät tarvitse mittauksen toteuttamiseen prismaa, josta lasersäde heijastuu takaisin, vaan mittaus voidaan tehdä suoraan mitattavalta pinnalta. Säteen toimintaperiaate jakautuu pulssi- ja vaihe-erolasereihin, joiden toimintaa on kuvattu aiemmin (luku 2.4.2) laserkeilainten yhteydessä. [58].

Takymetrin tuottaman pistemäisen sijaintitiedon perusteella pystytään tarkastamaan rakenteen mittojen paikkansapitävyys verrattuna kohteesta saatavilla oleviin suunnitelmiin. Erona laserkeilattuun aineistoon on tunnettujen pisteiden vähyys, toisaalta aineiston käsittely ei vaadi mittavaa työpanosta. Takymetrillä mitatut yksittäiset pisteet ovat myös laserkeilaamalla tuotettuja pisteitä mittatarkempia.



## 3 TUTKIMUKSEN TOTEUTUS

Luvussa 3 esitellään tutkimuksessa käytetyt tutkimusmenetelmät ja tapaustutkimuksessa käytetty esimerkkikohde. Luvussa käsitellään myös sillan suunnitteluprosessin etene- mistä käytännön tasolla erikoistarkastuksesta korjaussuunnitteluun. Käytännön projek- tissa muodostettavan tietomallin kokoamisen vaiheet on kuvattu aiemmin tutkimuksessa (Kuva 11). Tämän luvun alaluvuissa erikoistarkastuksen ja korjaussuunnittelun sisältö perustuvat edellä mainitun kuvan mukaiseen jaotteluun.

### 3.1 Tutkimusmenetelmän valinta

Tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa tietomallipohjaisesti sillan peruskorjauksen kor- jaussuunnitelma ja verrata suunnitelman sisältöä perinteiseen piirustus pohjaiseen suunni- telma-aineistoon. Inframallintamista koskevaa ohjeistusta ollaan kehittämässä parhail- laan usean eri tahon toimesta. Korjaussuunnittelu ja -rakentaminen on pyritty huomioi- maan myös ohjeistuksessa, tosin se jää usein uudisrakentamisen varjoon. Koska tämä tut- kimus käsittelee sillan korjaushanketta, aiemmin julkaistua tutkimustietoa ja alan ohjeis- tusta joudutaan soveltamaan. Tutkimusmenetelmäksi valittiin kirjallisuusselvityksen ja tapaustutkimuksen yhdistelmä. Näin päästään luontevasti käsittelemään jo tehtyä tutki- musta ja sitä voidaan soveltaa case-kohteen kautta korjaushankkeen erityispiirteisiin so- veltuvaksi. Lisäksi tietomallintamisen nykytilaa on selvitetty keskusteluiden avulla, joita on käyty siltojen tietomallintamiseen perehtyneiden suunnittelutoimistojen ja tutkimus- laitosten henkilöstöjen kanssa.

Kirjallisuusselvityksen avulla saadaan muodostettua kattava kuvaus taustateoriasta tutkimuksessa tehtävän tapaustutkimuksen taustalle. Taustateorian avulla saadaan kuvat- tua siltojen ylläpidon tarpeita ja toimintatapoja, tietomallintamisen ja tietomallien muo- dostamista sekä korjaussuunnittelun lähtötietojen kokoamiseen liittyviä tekniikoita. Kat- tava sekä siltojen ylläpitoa että tietomallintamista käsittelevä taustateoria auttaa siltojen korjaussuunnittelijoita ja tietomallintajia ymmärtämään toistensa tarpeita ja toimintata- poja.

Tapaustutkimuksen avulla päästään perehtymään yksittäisen suunnittelutoimeksian- non mukanaan tuomiin haasteisiin ja kehityskohtiin, jotka kohdataan kun hanke toteute- taan tietomallipohjaisesti. Koska tutkimuksen yhtenä tarkoituksena on nostaa esiin silto- jen tietomallintamista koskevan ohjeistuksen kehityskohtia, on tapaustutkimus luonteva valinta. Tapaustutkimukseen liittyvän case-kohteen myötä saadaan arvokasta käytännön kokemusta tutkimuksen edetessä. Tapaustutkimus antaa käsityksen yksittäisen sillan koh- dalla tehtävistä havainnoista, joiden yleistämistä koko sillastoa tai suunnitteluprosesseja yleistäviksi havainnoiksi tulee arvioida. Koska siltojen korjaussuunnittelua tietomallinta- malla ei ole aiemmin juurikaan tutkittu Suomessa, eikä käytännön suunnittelutyöstä ole kokemuksia, on tapaustutkimuksen käytännönläheisen havainnoinnin anti arvokasta.

### 3.2 Tutkimuksen case-kohteen esittely

Tutkimuksen tapaustutkimus käsittelee yksittäistä siltaa. Esimerkkikohteena tapaustutkimuksessa tarkastellaan Paciuksenkadun siltaa. Silta sijaitsee Helsingissä ja Helsingin kaupungin rakennusvirasto vastaa sillan ylläpidosta. Alla olevassa taulukossa (Taulukko 5) on esitetty sillan perustiedot ja kuvissa (Kuva 22 - Kuva 25) yleiskuvia sillasta ja siltapaikasta.

**Taulukko 5:** Paciuksenkadun sillan perustiedot.

Sillan nimi	Paciuksenkadun silta
Sillan numero	U-1307
Kunta	Helsinki
Tieosa	Paciuksenkatu
Tieosoite	1-002-01596 Huopalahdentie
Liikennemäärä KVL (mittausvuosi) / raskaan liikenteen osuus	36 001 (2010) / 12 %
Hoitoluokka	I
Alittavat väylät	Vesistö, Pikku Huopalahti
Siltatyyppe	Teräsbetoninen laattasilta
Jännemitat	7,8 m
Kokonaispituus	16,0 m
Hyödyllinen leveys	32,5 m
Kokonaisleveys	33,5 m
Alikulkukorkeus	2,12 m
Vinous	0,0 gon
Vaaka- ja pystygeometria	- kallistus pituussuuntaan 0,00 - ajoradoilla poikkikallistus reunoille - kevyen liikenteen poikkikallistus väylillä kohti ajorataa
Valmistumisvuosi	1949
Tehdyt korjaukset	1993 Paikallisia korjaustöitä - lennätin- ja sähkövaraukset täytetty betonivalulla - puhelin-, vesi- ja kaapelivaraukset vahvennettu palkeilla - sillan reunojen vedeneriste uusittu
Suunnittelukuorma	- alkuperäinen laatta 5 t/m <sup>2</sup> , kannen reunoilla 400 kg/m <sup>2</sup> - korjaustöiden yhteydessä Lk 1





**Kuva 22:** Yleiskuva sillan päältä.  
(Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)



**Kuva 23:** Yleiskuva sillan sivulta etelästä.  
(Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)



**Kuva 24:** Yleiskuva sillan alta.  
(Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)



**Kuva 25:** Vauriokuva, sillan pohjoisreunan ruostevaurio ja vesivuoto.  
(Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

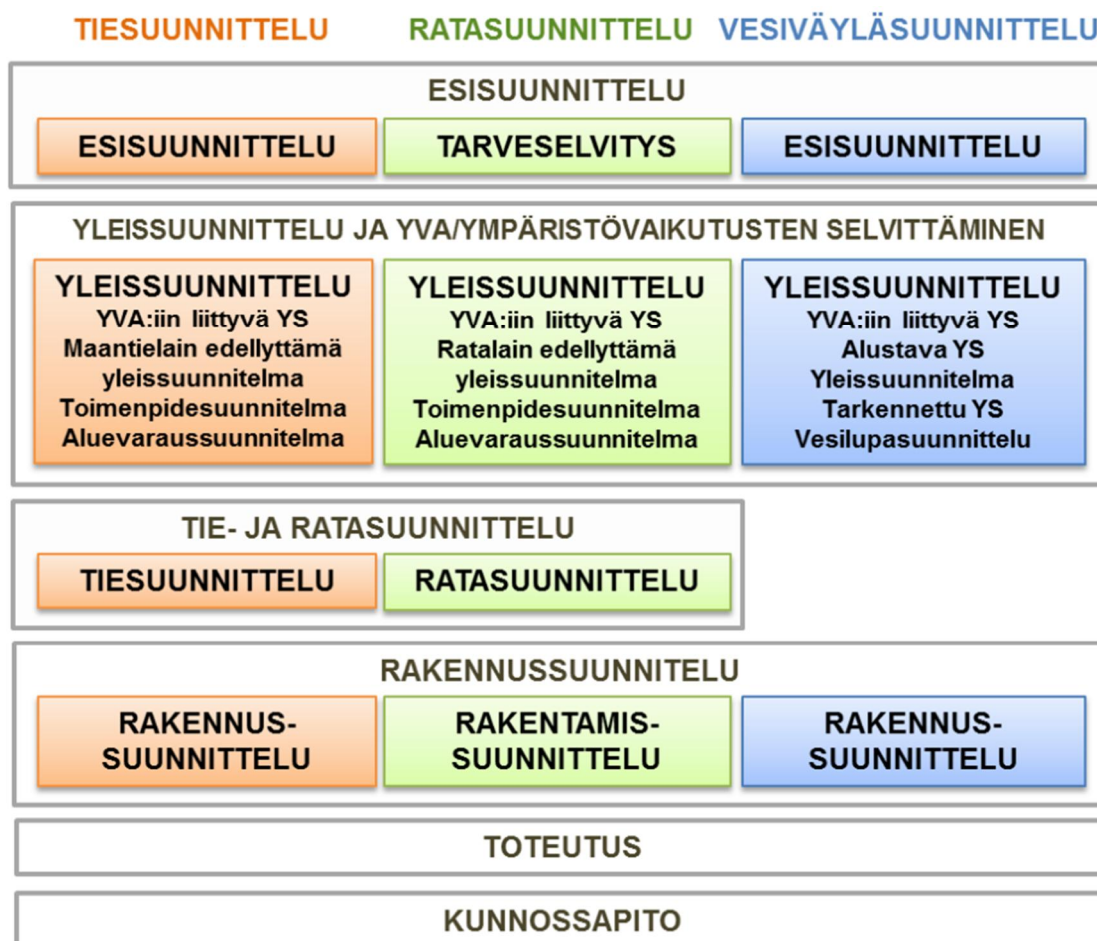
Sillan vaurioituminen on havaittu yleistarkastuksissa ja vaurioitumisen kehittymistä on seurattu peräkkäisillä tarkastuksilla. Yleistarkastuksessa on silmämääräisesti havaittu merkittäviä vaurioita, kuten sillan kansirakenteen vakava rapautuma ja erittäin vakava vesivuoto. Rakenteen vaurioiden kehityttyä liian merkittäviksi silta on nostettu korjausohjelmaan. Tämän tutkimuksen yhteydessä selvitettiin rakenteen kuntoa erikoistarkastuksen avulla ja laadittiin sillan korjaussuunnitelma erikoistarkastuksessa tehtyjen havaintojen perusteella.

### 3.3 Sillan korjaussuunnitteluprosessin eteneminen

Tutkimuksen käytännön case-kohteen suunnittelun edetessä havaittiin, ettei sillan korjaussuunnitteluhankkeen etenemistä voida kuvata samoilla hankkeen vaiheilla kuin uudiskohdetta. Ensimmäisessä alaluvussa on esitelty lyhyesti uuden sillan suunnittelua kuvaava hankkeen kulku. Seuraavassa alaluvussa esitellään tutkimuksen yhteydessä muodostettu kuva korjaushankkeen etenemisestä.

### 3.3.1 Sillan suunnittelun eteneminen uudiskohteessa

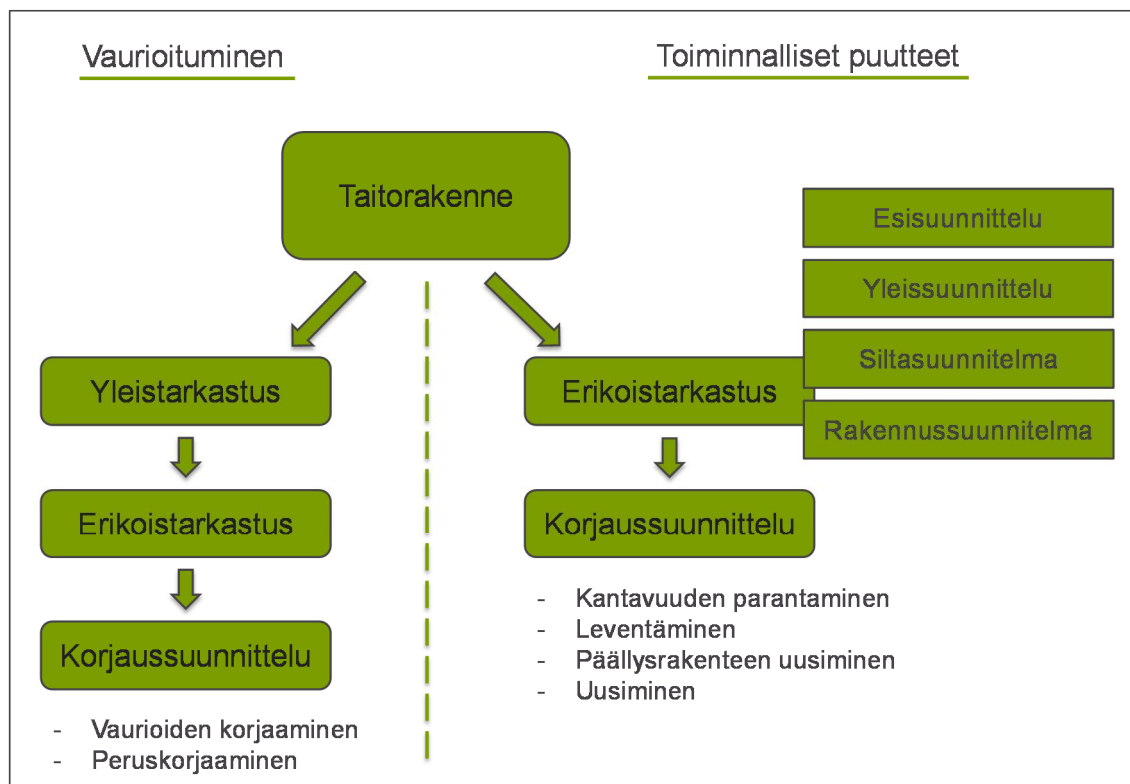
Suunniteltaessa uutta siltarakennetta suunnittelu jakautuu seuraaviin suunnitteluvaiheisiin: esisuunnittelu, yleissuunnittelu, siltasuunnitelma ja rakennussuunnitelma. Alla olevassa kuvassa (Kuva 26) on esitetty näiden suunnitelmavaiheiden liittyminen taitorakenteiden suunnittelun eri vaiheisiin. Siltasuunnitelma laaditaan tie- tai ratasuunnitteluvaiheessa, muuten suunnitteluvaiheiden nimitykset vastaavat toisiaan. Sillan suunnitelman lähtötiedot tarkentuvat vaihe vaiheelta suunnittelun edetessä. Varsinainen suunnitelma, jonka perusteella silta rakennetaan, laaditaan rakennussuunnitteluvaiheessa. Kaikissa aiemmissa suunnitteluvaiheissa tuotettu aineisto toimii tämän suunnitteluvaiheen lähtötietona. [4]. Kuvassa on myös esitetty muiden taitorakenteiden, rata- ja vesiväylärakenteiden, suunnitteluvaiheiden termistöä, jotka poikkeavat hieman tiesiltojen yhteydessä käytettävistä nimikkeistä.



*Kuva 26: Taitorakenteen suunnitteluvaiheet [4, s. 10].*

### 3.3.2 Tietomallintamisen eteneminen sillankorjaushankkeessa

Olemassa olevaan siltaan kohdistuvat toimenpiteet voidaan jaotella kahteen päätapaukseen, toiminnallisten puutteiden poistamiseen ja vaurioiden korjaamiseen, jolloin hankkeiden kulku poikkeaa toisistaan. Nämä päätapaukset ja niiden kulku on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 27). Toinen tapauksista koostuu toimenpiteistä kun silta on osana nykyisen väylän muutos- tai parannushanketta eli sillalla on toiminnallisia puutteita eikä se täytä väylän sille asettamia vaatimuksia. Toinen tapauksista toteutuu kun sillalle tehdään toimenpiteitä sillan vaurioitumisen johdosta. Molemmille tapauksille on yhteistä se, että korjaussuunnittelun lähtökohtana on olemassa olevan rakenteen erikoistarkastaminen ja lähtötietojen kokoaminen rakenteesta. Tällöin voidaan palata noudattamaan jo aiemmin esitettyä (Kuva 11) mallia hankkeen kulusta, jossa hanke jaetaan erikoistarkastukseen ja korjaussuunnitteluun.

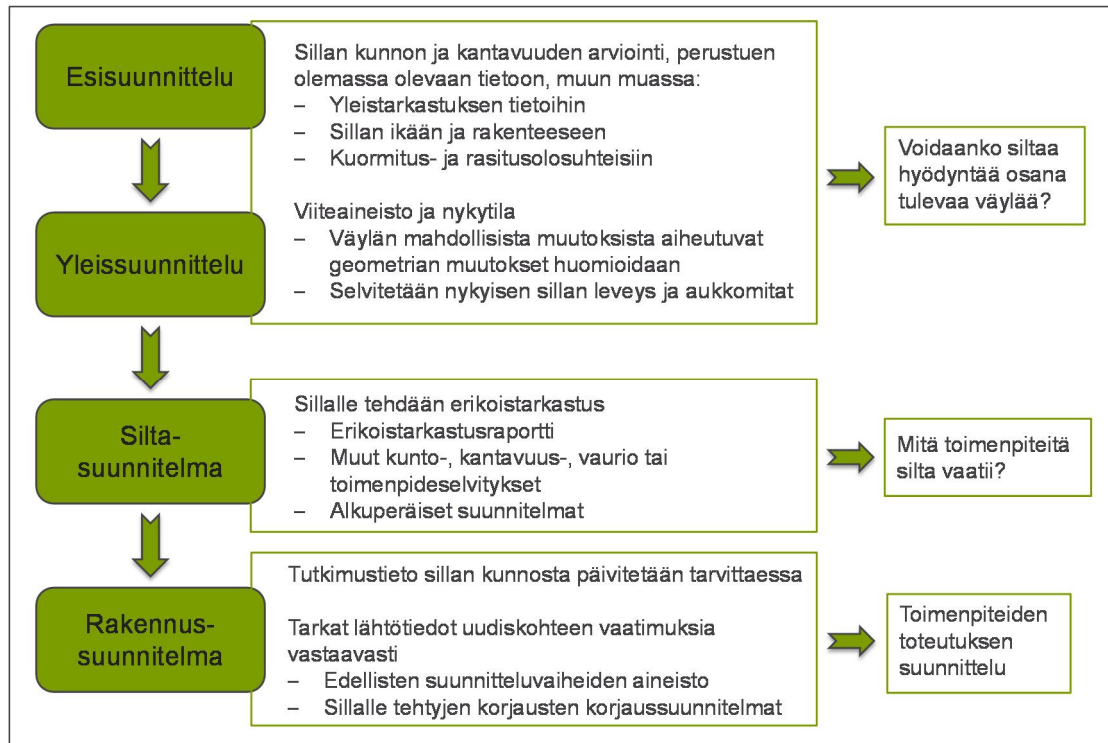


**Kuva 27:** Olemassa olevan sillan polut, ennen korjaussuunnittelua.

#### Sillan toiminnallisten puutteiden poistaminen

Kuten aiemmin tutkimuksessa on todettu, väylänparannushankkeen yhteydessä nousevat esiin yleensä sillan toiminnallisten puutteiden korjaaminen ja sillan kantavuuden varmistaminen. Kun olemassa oleva siltarakenne on osa väylähanketta, sillan lähtötietojen hankkiminen ja korjaussuunnittelun eteneminen sopivat aiemmin esitetyn kuvan (Kuva 26) mukaiseen hankkeen etenemiseen. Hankkeen kulkua ja tarvittavaa tietoa eri suunnitteluvaiheissa on kuvattu alla olevassa kuvassa (Kuva 28). Kuten kuvasta näkyy, olemassa

olevaa siltaa koskevia päätöksiä tehdään hankkeen eri vaiheissa ja päätösten taustalle tarvitaan suunnitteluvaiheesta riippuen tarkkuustasoltaan vaihtelevaa tietoa. Riippuen hankkeesta, kaikkia suunnittelun vaiheita ei käydä läpi. Lähtötietojen määrä ja tarkkuus kasvavat hankkeen edetessä kohti rakennussuunnitelmavaihetta. Sillan kunto ja tiedot selvitetään kattavasti viimeistään rakennussuunnitteluvaiheen alkaessa tekemällä erikoistarkastus [4].



**Kuva 28:** Korjaussuunnittelun lähtötiedot hankkeen eri vaiheissa.

Esi- ja yleissuunnitteluvaiheessa pyritään vastaamaan kysymykseen: voidaanko siltaa hyödyntää osana uutta väylää? Päätös sillan hyödyntämisestä perustuu arvioon sillan kunnosta ja kantavuudesta sekä sillan geometrian asettamista rajoituksista. Sillan kuntoa ja kantavuutta arvioidaan esimerkiksi yleistarkastuksissa sillan vaurioista hankitun tiedon sekä sillan iän ja käytettyjen rakenneratkaisujen perusteella. Sillan geometriasta, hyötyleveydestä ja aukkomitoista hankitaan tiedot, joiden perusteella voidaan arvioida sillan soveltuvuutta osaksi uutta väylää ja tunnistetaan mahdolliset toiminnalliset puutteet sillan geometriassa. [4].

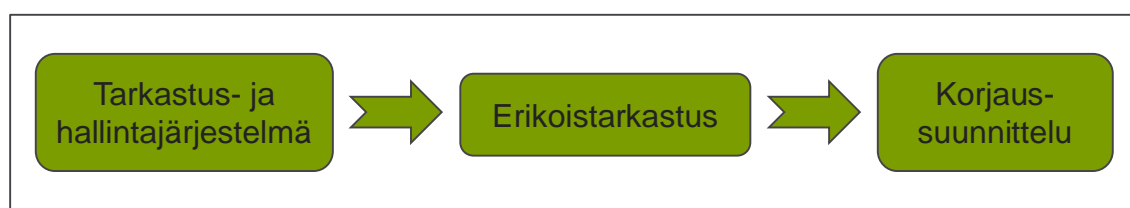
Siltasuunnitelmavaiheessa tehdään sillalle erikoistarkastus ja selvitetään tarkemmin sillan vaurioitumista. Erikoistarkastusta laajennetaan tarvittaessa muilla sillan kuntoa kartoittavilla tutkimuksilla ja selvityksillä. Erikoistarkastuksen ja suunnitteluvaiheen päätösten pohjalla tulee olla käytettävissä sillan alkuperäiset suunnitelmat ja mahdollisesti aiemmin sillan elinkaaren aikana tehdyistä korjauksista korjaussuunnitelmat. Siltasuunnitelmavaiheen aikana kartoitetaan sillalle tarvittavat korjaustoimenpiteet ja vastataan kysymykseen: Mitä toimenpiteitä silta vaatii, jotta se on hyödynnettävissä osana uutta väylää? [4].

Rakennussuunnitelmavaiheessa tulee olemassa oleviin siltoihin kohdistuvat toimenpiteet ja suunnittelun vaatimat lähtötiedot olla selvillä tai ne selvitetään suunnitteluvaiheen alkaessa. Vanhentunut hankkeen alkuvaiheessa hankittu tieto rakenteen kunnosta päivitetään. Yli viisi vuotta vanhaa erikoistarkastuksen tuottamaa tutkimustietoa ei tule käyttää päätösten pohjana. Käytettävän lähtötietoaineiston tulee olla tarkkuustasoltaan uudiskohteen vaatimuksia vastaava. Väylän muutoksista ja olemassa olevan sillan korjaustarpeista riippuen rakennussuunnitelmavaiheessa esitetään muun muassa:

- siltaa uusittaessa uuden sillan suunnitelmat
- sillan vahventamisen suunnitelma ja tarvittavat korjaustoimenpiteet
- sillan leventämisen suunnitelma ja tarvittavat korjaustoimenpiteet tai
- sillan peruskorjauksen suunnitelma. [4].

### Sillan korjaaminen vaurioitumisen johdosta

Kun sillan korjaustarve nousee esiin sillan elinkaaren aikana tapahtuvan vaurioitumisen kautta, hankkeen kulku yksinkertaistuu, jolloin se noudattaa alla olevassa kuvassa (Kuva 29) ja aiemmin tutkimuksessa kuvattua ylläpidon toimintatapoja. Sillan erikoistarkastustarve nousee esiin sillalle tehtyjen yleistarkastusten ja niiden perusteella siltojen hallintajärjestelmään syötetyn tiedon perusteella.



**Kuva 29:** Korjaussuunnittelun eteneminen kun taustalla on sillan vaurioituminen.

Päätös sillan korjaamisesta ja korjaustoimenpiteistä tehdään aiemmin tutkimuksessa esitellyn taitorakenteiden hallintajärjestelmän ja erikoistarkastuksen tulosten perusteella. Lähtötietojen tarkkuuden ja laajuuden osalta noudatetaan Taitorakenteiden lähtötieto-ohjeen rakennussuunnitteluvaiheen vaatimuksia [4]. Sillan peruskorjauksen korjaussuunnitelman laatiminen voidaan rinnastaa rakennussuunnitteluvaiheessa tuotettavaan aineistoon, jota on kuvattu tutkimuksen edellisessä alaluvussa.

### 3.3.3 Tietomalliohjeiden soveltaminen korjaushankkeeseen sopivaksi

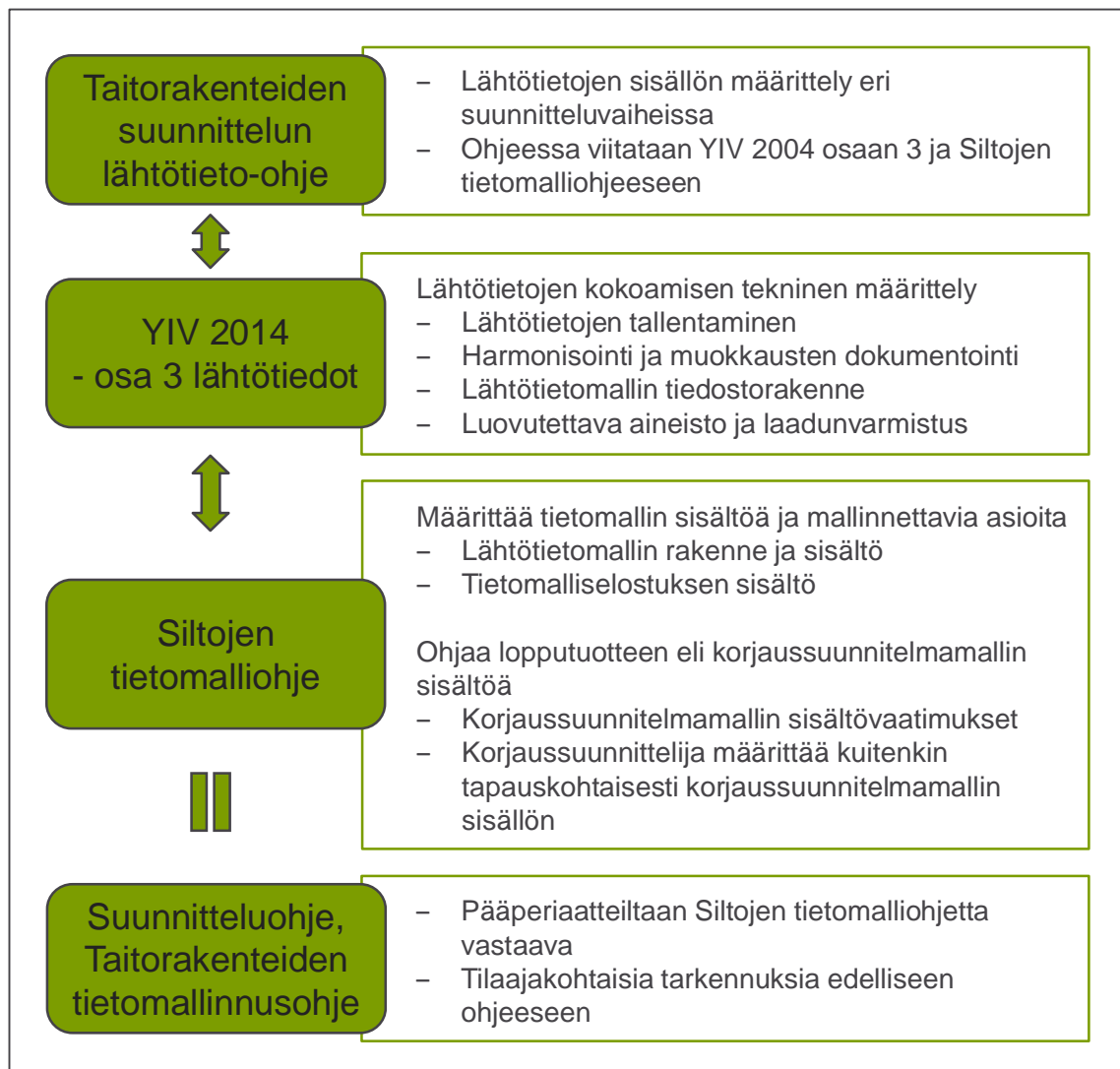
#### Tietomallintamista koskeva ohjeistus

Lähtötietoihin liittyvän ohjeistuksen tavoitteena on ollut yhtenäistää ja ajantasaistaa siltojen suunnittelun lähtötietoihin liittyvää ohjeistusta [4, s. 4]. Tietomallintaminen aiheuttaa uusia vaatimuksia myös suunnittelun lähtötiedoille, jota ohjeissa on kuvattu. Lähtötietoja koskeva ohjeistus koskee erityisesti sillan korjaussuunnittelun kannalta erikoistarkastusvaiheessa (Kuva 11) tehtävää tiedon kokoamista. Tässä työssä pilotoidaan tutkimuksen loppuvaiheilla julkaistua Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohjetta [4]. Kyseinen ohje viittaa tietomallien osalta sekä Tietomalliohjeeseen että Yleisten



inframallivaatimusten osaan 3 [4, s. 8]. Näiden kolmen ohjeen sisällöstä muodostuvat vaatimukset infrarakennetta kuvaavan tietomallin ja sen lähtötietojen sisällölle. Lisäksi Helsingin kaupungin rakennusviraston tietomallinnusohje [6] poikkeaa sisällöltään ja asettaa lisävaatimuksia edellisiin ohjeisiin verrattuna.

Tietomallintamisen ohjeistuksen jakautumista useaan eri ohjeeseen on havainnollistettu alla olevassa kuvassa (Kuva 30). Korjaushankkeen eri vaiheissa, koottaessa tietomallia, joudutaan eri ohjeista poimimaan vaatimuksia tietomallille.



**Kuva 30:** Tietomallintamisen ohjeistuksen jakautuminen eri ohjeisiin ja ohjeiden sisältö pääpiirteittäin.

Lähtötietojen kokoamista käsittelevän ohjeistuksen tarkoituksena on saattaa lähtötietomalliin käytettävä aineisto mahdollisimman pitkälle yhtenäiseen muotoon, jota tietomallipohjaisessa suunnittelussa pystytään hyödyntämään [4]. Lähtötietomalli ei sisällä pelkästään 3D-mallia, vaan sen mukana on myös muun muassa perinteisiä suunnitelma-piirustuksia ja asiakirjoja, jotka kuvaavat rakenteen nykytilaa. On tärkeää huomata, että lähtötietomalli ei välttämättä sisällä lainkaan 3D-aineistoa tai -mallia. Lähtötieto-ohje antaa käsityksen tarvittavista lähtötiedoista suunnitteluprosessin eri vaiheissa. Ohjeessa on

huomioitu myös olemassa oleviin siltoihin kohdistuvien toimenpiteiden vaatimat lähtötiedot. Ohjeessa viitataan myös muihin tietomalliohjeisiin, jolla se liitetään osaksi ohjekokonaisuutta.

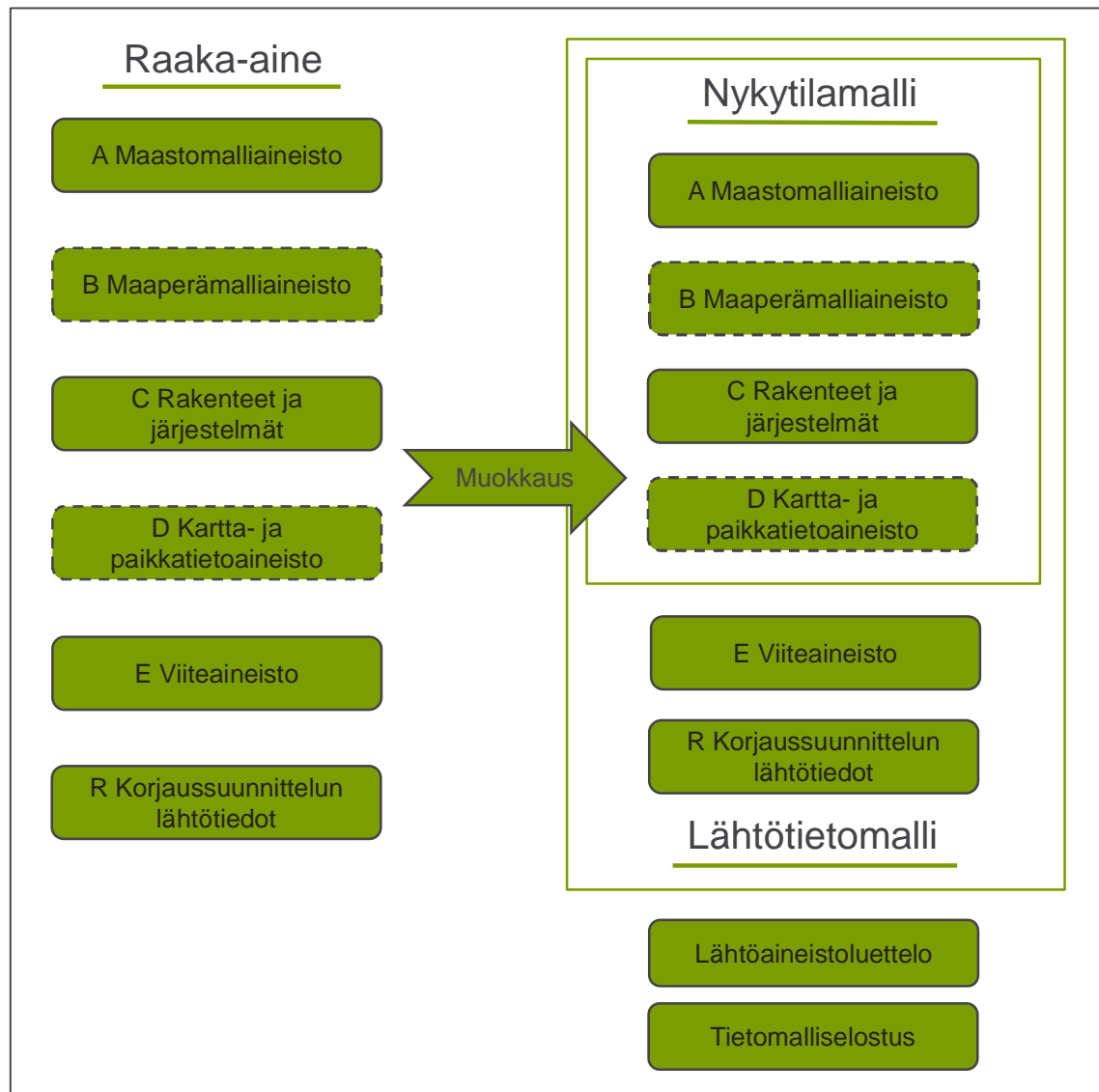
Yleisten inframallivaatimusten osassa 3 [59] on määritelty lähtötietoja koskevia vaatimuksia. Ohjeet ovat vielä tutkimuksen kirjoitushetkellä luonnoksia. Ohje määrittelee lähtötietojen tallentamista varten käytettävän tiedostojen nimeämismuodon ja kansiorakenteen. Lisäksi ohjeessa otetaan kantaa tiedostojen harmonisoimiseen tietomallien lähtötiedoksi paremmin soveltuviksi sekä laadunvarmistukseen ja muutosten dokumentointiin.

Siltojen tietomalliohje ja taitorakenteiden tietomalliohje määrittelevät tietomallin sisältöä, mitä asioita mallinnetaan ja mikä on tietomallin rakenne. Siltojen tietomalliohjeessa on huomioitu myös siltojen korjaussuunnittelu. Ohjeissa määritetään myös tietomallia kuvaavan tietomalliselostuksen sisältö. Taitorakenteiden tietomalliohjeessa on esitetty Helsingin kaupungin vaatimia tarkennuksia edellisiin ohjeisiin.

### **Lähtötietojen kokoaminen**

Sillan lähtötietojen kokoamista ja mallintamista on käsitelty useassa eri ohjeessa [3][4][6][59], kuten aiemmin esitetystä kuvasta (Kuva 30) nähdään. Lähtötietomallin muodostamisessa suuren osan työstä muodostaa lähtötietojen hankkiminen ja harmonisointi, jota tässä luvussa on käsitelty.

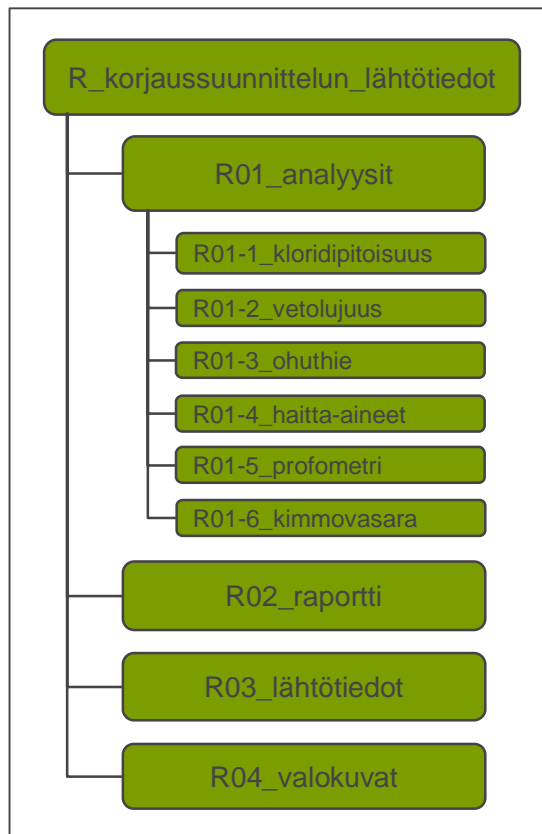
Lähtötietomallin luomiseen tarvittavat lähtötiedot kootaan raaka-aine kansioon, johon tallennetaan kaikki kohteen lähtötiedot muokkaamattomina. Raaka-aine kansioista muokataan lähtötietoja lähtötietomallin vaatimusten mukaisesti ja lähtötiedot kootaan lähtötietomalliksi. [59]. Lähtötietomallin muodostumista on jo esitelty aiemmin (Kuva 11). Alla olevaan kuvaan (Kuva 31) on koottu lähtötietojen tallentamiseen käytettävä kansiorakenne. Kuvassa yleensä korjaushankkeen kannalta toissijaiset kansiot on esitetty katkoviivalla. Kansiorakennetta on muokattu lähteestä, Yleiset infravaatimukset Lähtötiedot [59, s. 6], lisäämällä kansio ”R Korjaussuunnittelun lähtötiedot” erikoistarkastuksen tuottamaa tietosisältöä varten. Raaka-aineesta muokattu aineisto tallennetaan kuvan kansiorakenteen mukaisesti ja se muodostaa sillan nykytilamallin ja laajennettuna viiteaineistolla sekä erikoistarkastuksen tuottamalla aineistolla sillan lähtötietomallin. Lisäksi olennaisena osana tiedonsiirtoa eri suunnitteluvaiheiden välillä tarvitaan lähtöaineistoluettelo ja tietomalliselostus, joissa kuvataan lähtöaineiston sisältö, sille tehdyt muutokset sekä lähtötiedoista muodostetun tietomallin rakenne.



**Kuva 31:** Raaka-aine ja lähtötietomallin rakenne, muokattu lähteestä [59, s. 6].

Korjaussuunnittelun lähtötiedot kansion lisääminen tietomallintamalla toteutettavan korjaushankkeen yhteyteen on perusteltua, jotta erikoistarkastuksen tuottama tieto sillan kunnosta saadaan mukaan sillan lähtötietomalliin sekä tallennettua kansiorakenteeseen. Alla olevassa kuvassa (Kuva 32) on esitetty ehdotus kansion alakansioista. Kansion sisältö ei ole täydellinen, vaan alakansiota tulee lisätä, jos kohteen tarpeet niin vaativat. Kuvassa on esitetty esimerkinomaisesti tämän tutkimuksen case-kohteen erikoistarkastuksen tarpeisiin sopivat alakansiot. Alakansioihin tallennetaan tiedot muun muassa sillan rakenteista otetuiden näytteiden laboratorioanalyysistä. Kuvassa on esitetty tavanomaiset erikoistarkastuksen yhteydessä tehtävät analyysit. Muitakin analyysieja ja tutkimuksia toki on olemassa ja voidaan tehdä kohteen niin vaatiessa. Erikoistarkastuksesta laaditaan erillinen raportti, jossa esitetään muun muassa erikoistarkastuksessa tehty havainnot ja ehdotus korjaustoimenpiteistä sekä niiden ajoittamisesta. Myös erikoistarkastusraportti voidaan tallentaa osaksi tiedostorakennetta, jossa se on seuraavan suunnitteluvaiheen käytävissä.





**Kuva 32:** Ehdotus erikoistarkastuksen tuottaman datan kansiorakenteesta.

Lähtötietojen hallitsemiseksi pidetään lähtötietoaineistosta lähtöaineistoluetteloa. Lähtöaineistoluetteloon kootaan kaikista käytetyistä lähtötiedoista alkuperä- ja metatiedot sekä mahdolliset riskit ja erityishuomiot, joita kyseiseen lähtötietoon liittyy. Lähtöaineistoluettelo luovutetaan lähtötietomallin mukana lähtötietoja jatkokäyttävän tahon käyttöön. Näin varmistetaan lähtötietojen luotettavuudesta ja tiedon siirtymisestä eri suunnitteluvaiheiden välillä. [59, s. 8]. Esimerkki tässä tutkimuksessa tarkasteltavasta case-kohteen lähtöaineistoluettelosta on esitetty liitteessä (Liite 2).

Useasta eri lähteestä koottavaa lähtötietoa joudutaan harmonisoimaan, jotta koottava tieto saadaan mahdollisimman hyvin yhteensopivaan muotoon ja tietomallin tulkittavaksi. Muokkaustoimenpiteitä voivat olla esimerkiksi koordinaattijärjestelmän muokkaaminen yhteensopivaan muotoon, tiedostomuodon yhdenmukaistaminen tai rakenteen mallintaminen vanhojen piirustusten perusteella. Muokkaustoimenpiteet tulee dokumentoida. Muokkaustoimenpiteet tulee myös kirjata lähtötietomallin tietomalliselostukseen. [59].

Lähtötietojen laatu varmistetaan tekemällä lähtöaineistoluettelo ja lähtötietoselostus. Nämä dokumentit kokoaa lähtötietojen laatija tai lähtötietomallin kokoaja. Näin taataan se, että lähtötietojen jatkokäyttäjä on tietoinen aineistolle tehdyistä muutoksista. Lähtötietojen jatkokäyttäjän tulee tehdä aineistolle vastaanottotarkastus, jossa tarkastetaan aineiston olevan ajan tasalla, aineiston puutteet, vastaako aineiston tarkkuus hankkeen vaa-

timuksia ja ettei aineistossa ole selkeitä virheitä tai puutteita. Aineiston tulee myös sisältää kaikkien lähtötietojen metatiedot. Lähtötietomalli luovutetaan eteenpäin suunnittelun pohjaksi tässä kappaleessa kuvatun kansiorakenteen mukaisesti jaoteltuna. [59].

### 3.4 Erikoistarkastus

Erikoistarkastusvaiheessa esimerkkikohteen kunto ja geometria selvitettiin mittausten ja tutkimusten avulla. Lisäksi kartoitettiin siltapaikalla olevat muiden tekniikkalajien rakenteet. Erikoistarkastuksen lopputuotteena syntyi sillan korjauksen lähtötietomalli ja erikoistarkastusraportti. Erikoistarkastuksen sisältö kuvattiin tarkemmin erillisessä erikoistarkastusraportissa. Raportti käsittelee tarkemmin rakenteen kuntoa ja listaa sillan korjaustarpeen, lisäksi raportissa on esitetty korjaukselle alustava kustannusarvio. Erikoistarkastusvaiheessa tehdyt toimenpiteet on kuvattu tässä luvussa.

Erikoistarkastuksen yhteydessä tehdyt kenttätöet eli sillan geometrian mittaaminen ja rakenteen kunnan selvittäminen on kuvattu kahdessa ensimmäisessä alaluvussa. Kolmas alaluku käsittelee muiden lähtötietojen kuten liittyvien tekniikkalajien kokoamista, joka tehtiin selvittämällä eri toimijoilta lähtötiedot siltapaikan rakenteista. Neljännessä alaluvussa kuvataan edellä mainittujen lähtötietojen kokoaminen lähtötietomalliksi.

Erikoistarkastusvaiheessa apuna käytettiin alikonsultteja. VRT Oy vastasi sillan ja siltapaikan laserkeilaamisesta sekä vedenalaisten rakenteiden kaikuluotaamisesta. Lisäksi aineiston jatkokäsittely kuului toimeksiantoon. Roadscanners Oy vastasi sillan pintarakenteen siltatutkaamisesta ja aineiston jatkokäsittelystä sekä tulosten tulkinnasta. Labroc Oy suoritti betonilieriöiden ja haitta-aineiden laboratoriotutkimukset.

#### 3.4.1 Sillan ja siltapaikan geometrian selvittäminen

##### Alkuperäiset suunnitelmat ja aiempi korjaussuunnitelma

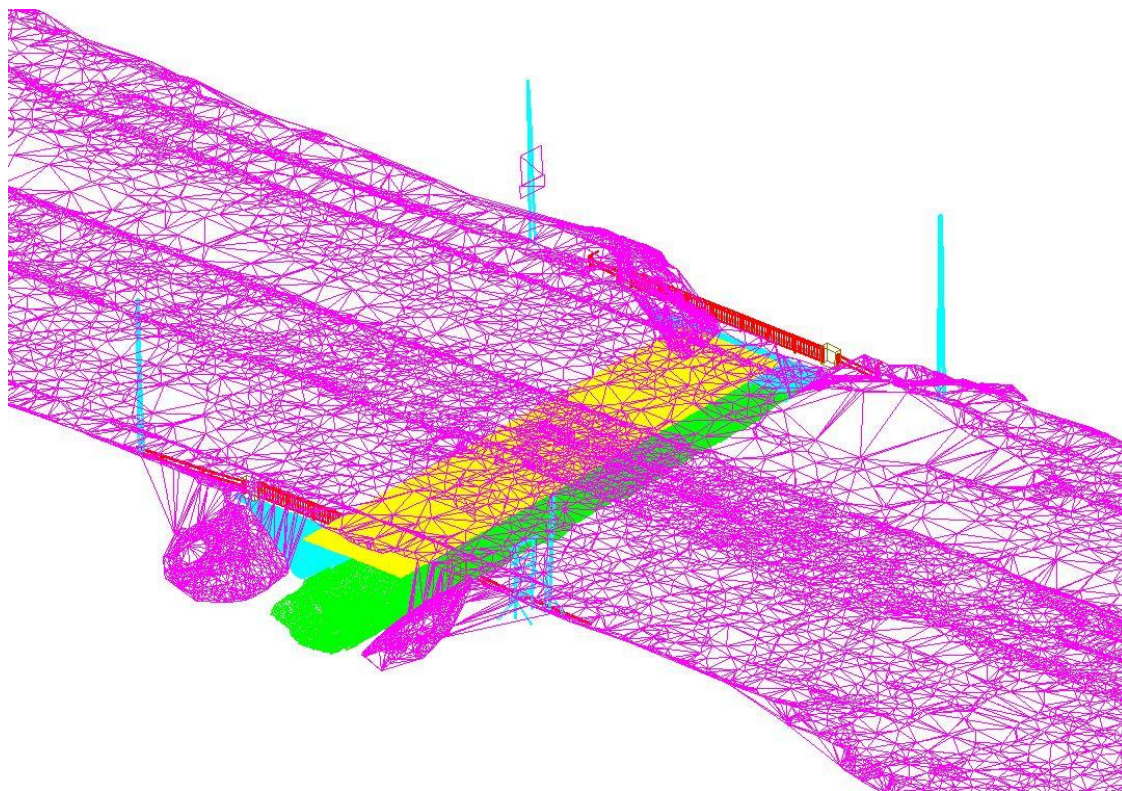
Sillan lähtötietojen kokoaminen aloitettiin hankkimalla sillan alkuperäiset suunnitelmat ja sillalle tehdyn korjauksen korjaussuunnitelma. Sillan suunnitelma-aineisto oli saatavilla pdf-tiedostomuodossa Helsingin kaupungin arkistosta. Suunnitelma-aineistoa käytettiin lähtötietona rakenteesta erikoistarkastusta suunniteltaessa ja sen perusteella mallinnettiin myöhemmin sillan geometriaa.

##### Laserkeilaus

Siltapaikka laserkeilattiin sillan ja siltapaikan geometrian selvittämiseksi. Laserkeilausten ja aineiston käsittelyn suoritti ulkopuolinen konsultti. Laserkeilaus suoritettiin ohjeiden [4] määrittämän siltapaikan mukaiselta alueelta. Alueella oli keilaushetkellä käynnissä viereisen sillan rakennustyömaa, joka aiheutti aineistoon häiriötä. Aineistoa ei saatu hankittua koko siltapaikan alueelta ja se sisältää viereisen siltaurakan liikennejärjestelyjen aiheuttamia poikkeamia siltapaikan normaaliin tilanteeseen nähden.

Ennen laserkeilauksen aloittamista sillan reunapalkkien päihin asennettiin kiintopisteet, joiden sijainti koordinaatistossa selvitettiin takymetrimittausten avulla. Kiintopisteiden avulla laserkeilaimen asema tähyssverkossa pystytettiin selvittämään. Pistepilven mitaaminen suoritettiin Zoller & Fröchlin Imager -keilaimella. Siltapaikan geometrian määrittäminen suoritettiin 20 keilauspisteestä, jolla saatiin keilaus kattamaan 100 m matka sillan päistä molempiin suuntiin tielinjalla. Sillan alapuoliset rakenteet keilattiin asentamalla laserkeilaimet sillan etumureihin. Mittapisteitä sillan alta kertyi 10 kappaletta.

Yksittäisestä mittapisteestä mitatut pistepilviaineistot yhdistettiin ja aineistoon kuulumattomat hajapisteet poistettiin alikonsultin toimesta. Alikonsultti tuotti aineistosta sekä kolmioverkkopinnasta koostuvan pintamallin että toimitti pistepilviaineiston pts-tiedostomuodossa. Alla olevassa kuvassa (Kuva 33) nähdään siltapaikasta laserkeilaamalla ja kaikuluotaamalla tuotetusta pistepilvestä tuotettu kolmiverkkoista koostuva pintamalli. Pintamallissa on eritelty omille tasoilleen eri rakenneosat, kuten sillan rakenteet, maanpinta ja uoman pohja.



**Kuva 33:** Siltapaikan pistepilvestä luotu kolmioverkkopinta. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy / VRT Oy)

### Kaikuluotaus

Vedenalaisten rakenteiden kuntoa ja geometriaa sekä uoman pohjan geometriaa kartoitettiin kaikuluotaamalla alikonsultin toimesta. Kaikuluotaus suoritettiin Kongsberg Mesotech MS 1000 -kaikuluotainjärjestelmällä. Sillan etumuriin kiinnitetyn takymetrin avulla määritettiin luotaimen sijainti silta-aukossa. Kaikuluotaus suoritettiin määrävälein

luotaamalla 360° kattava pistepilvi vedenalaisista rakenteista. Luotain kiinnitettiin mittauksen ajaksi etumuurin rakenteisiin.

Kaikuluotauksen tuottama aineisto eri mittapisteistä yhdistettiin ja käsiteltiin kaiku-luotainjärjestelmään kuuluvalla MS1000-ohjelmistolla. Luotauksen tuottama pistepilvi-aineisto liitettiin osaksi laserkeilauksen tuottamaa maanpäällisiä rakenteita kuvaavaa pistepilvi- ja pintamalliaineistoa.

### Siltatutkaus

Sillan kannen yläpinnan sijaintia ja kuntoa tutkittiin siltatutkan avulla. Siltatutkauksen suoritti alikonsultti. Laitteistona käytettiin IDS (Ingegneria dei Sistemi) 3D-maatutkaa. Kyseisessä laitteessa on 16-antennia, joilla tutkaus toteutetaan ja se kykenee mittaamaan kerralla noin metrin levyisen kaistan. Maatutkalla suoritettiin mittaukset koko kannen alueella, lukuun ottamatta sillan keskellä olevan raitiovaunukiskojen keskikorokkeen aluetta. Mittauksen aloitus ja lopetus rajattiin sillan ukkopylväiden tasalle. Alla olevassa kuvassa (Kuva 34) on esitetty siltatutka siltapaikalla. Kuvassa nähdään myös maalimerkintöjä, joilla siltatutkan kulkemat kaistat merkittiin päällysteen pintaan sekä sillan päädyn merkitsemiseen käytettyä alumiiniteippiä. Tutkaa kuljetettiin sillan kannella kaista kerrallaan, jonka jälkeen siirryttiin viereiselle kaistalle. Maalimerkinnöin varmistettiin, että tutka kulkee kauttaaltaan koko kannen alueella, eikä kuljettujen kaistojen väliin jää katvealueita.



**Kuva 34:** Siltatutka, tutkauskaitojen ja sillan päään merkintöjä. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Siltatutkamittauksiin käytetty alikonsultti käsitteli siltatutkan tuottaman aineiston. Aineiston tulkintaan ja käsittelyyn käytettiin Road Doctor – ohjelmistoa. Ohjelmiston avulla voidaan käsitellä maa- ja siltatutkan tuottamaa aineistoa ja jatkojalostaa aineistoa muiden ohjelmistojen käytettäväksi. Siltatutkan tuottaman aineiston perusteella alikonsultti arvioi kannen yläpinnan kuntoa ja laati raportin kannen yläpinnan potentiaalisista vaurioalueista. Lisäksi aineistosta eroteltiin kannen yläpinnasta takaisin heijastuva paluusignaali,

jonka perusteella kannen yläpinnan korkeusasemaa kartoitettiin sillan nykytilamallin lähtötiedoksi. Kannen yläpinnan korkeusasema ilmoitettiin suhteessa kyseisen pisteen asfaltin yläpinnan korkeusasemaan. Tiedot toimitettiin tekstitiedostona Tekla Civilin .roadscanner – tiedostomuotoon jäsenneltynä, alla olevan kuvan mukaisesti (Kuva 35). Kuten kuvasta nähdään, tiedostossa kuvataan mittapisteen sijainti maailman koordinaatistossa (x- ja y-koordinaatit), mitatun rajapinnan tunnistekoodi (code) ja mitattu syvyys päällysteen pinnasta (level).

Num	Code	ValA	ValB	Counter	X-coord(m)	Y-coord(m)	Level(m)
11	71	1	0	1	25493783.196	6675898.402	-0.439
12	71	1	0	2	25493783.100	6675898.440	-0.443
13	71	1	0	3	25493783.012	6675898.476	-0.448
14	71	1	0	4	25493782.916	6675898.515	-0.440
15	71	1	0	5	25493782.828	6675898.551	-0.437
16	71	1	0	6	25493782.732	6675898.590	-0.443
17	71	1	0	7	25493782.644	6675898.625	-0.427
18	71	1	0	8	25493782.549	6675898.664	-0.414
19	71	1	0	9	25493782.453	6675898.703	-0.425
20	71	1	0	10	25493782.365	6675898.739	-0.416
21	71	1	0	11	25493782.269	6675898.777	-0.423
22	71	1	0	12	25493782.181	6675898.813	-0.402
23	71	1	0	13	25493782.085	6675898.852	-0.400
24	71	1	0	14	25493781.989	6675898.891	-0.400
25	71	1	0	15	25493781.902	6675898.927	-0.394
26	71	1	0	16	25493781.806	6675898.965	-0.394

**Kuva 35:** Siltatutkan tuottamaa aineistoa, kannen yläpinnan asemasta, suhteessa päällysteen yläpintaan.

### 3.4.2 Rakenteen kunnan tutkiminen

Sillan rakenteiden kuntoa tutkittiin erikoistarkastuksessa tekemällä silmämääräisiä havaintoja ja ottamalla betonirakenteista näytelieriöitä, joille suoritettiin laboratoriotutkimuksia. Lisäksi kannen yläpintaa, pintarakennekerroksia ja vedeneristettä tutkittiin tekemällä pintarakenteille rakenneavauksia. Erikoistarkastus toteutettiin aiemmin tutkimuksessa kuvatulla tavalla.

#### Silmämääräiset havainnot

Osa erikoistarkastuksen yhteydessä rakenteen kunnan havainnointia on silmämääräisten vauriokirjausten tekeminen. Erikoistarkastuksen yhteydessä sillan näkyvät vauriot kirjattiin yleistarkastusta vastaavalla menettelyllä. Silmämääräiset havainnot täydentävät ja tukevat rakenneavauksen ja laboratoriotutkimusten avulla hankittavaa tietoa rakenteiden kunnosta. Sillan rakenteiden kaikki näkyvät pinnat sekä varusteet ja laitteet tarkastettiin silmämääräisesti ja havainnot kirjattiin. Alla olevissa kuvissa (Kuva 36 – Kuva 38) ja aiemmin tutkimuksessa esitetyssä kuvassa (Kuva 25) on esitetty rakenteissa havaitut merkittävimmät vauriot ja ongelmat.

Silmämääräisesti havaittiin muun muassa sillan kannen alapinnan reunoilla pitkälle edennyttä raudoituksen teräskorroosiota ja vesivuodosta kertovia jälkiä, kaidepylvään juuren murtuminen ja sillan kaiteen epäjatkuvuuskohta ukkopylväiden kohdilla. Nämä



vauriot ja ongelmat olivat merkittävimpiä sillan kunnon kannalta sillalle kertyvän vauriopesumman kannalta. Lisäksi havaittiin muita merkitykseltään vähäisempiä vaurioita ja ongelmia.



**Kuva 36:** Vesivuodon aiheuttamia jälkiä kannen reunalla. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)



**Kuva 37:** Kaidepylvään juuri on murtunut. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)



**Kuva 38:** Sillan kaiteessa on epäjatkuvuuskohta ukkopylvään kohdalla. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

### Rakenneavaukset ja laboratoriotutkimukset

Sillan erikoistarkastuksessa tutkittiin siltarakenteen kuntoa muun muassa tekemällä rakenneavauksia sillan kannelle ja ottamalla betonista poralieriönäytteitä. Tutkimukset toteutettiin taitorakenteiden tarkastusohjeen [12] mukaisesti. Rakenteelle tehdyt tutkimukset on esitetty alla olevassa taulukossa (Taulukko 6). Laboratoriotutkimusten suorittaminen perustuu alalla yleisesti käytettyihin standardeihin. Tutkimukset suoritti Labroc Oy.

**Taulukko 6:** Erikoistarkastuksen yhteydessä otetut näytteet ja tehdyt tutkimukset.

	Ohuthie- analyysi	Veto- koe	Kloridit syvyydeltä [mm]			Karbona- tisoitumi- nen	Haitta- aineet	Peite- paks.	Silmä- määr.
			0...	20...	40...				
			20	40	60				
Kansilaatan yläpinta	4 kpl	4 kpl	4 kpl						
Kansilaatan alapinta		3 kpl	2 kpl			3 kpl		X	X
Kansilaatan sivupinta	1 kpl		2 kpl	2 kpl	1 kpl	1 kpl		X	X
Reunapalkit									X
Maatuet									X
Pinta- rakenteet									X
Vedeneriste							2 kpl		X
Varusteet ja laitteet									X
Siltapaikan rakenteet									X

Sillan kannella tehtiin neljä pintarakenteiden avausta, joissa pintarakenteet poistettiin kannelta ja tutkittiin kansilaatan yläpinnan kuntoa poraamalla siitä betoninäytteitä. Betoninäytteistä tehtiin ohuthieanalyysi, määritettiin betonin vetolujuus ja kloridipitoisuus. Lisäksi avauskohdista todettiin pintarakenteiden rakennekerrokset ja mitattiin niiden paksuudet sekä arvioitiin vedeneristeen kuntoa ja sen sisältäviä haitta-aineita laboratoriotutkimuksilla. Kannen ala- ja sivupintaa tutkittiin poraamalla betoninäytteitä, joista tutkittiin betonin vetolujuus ja betonin laatua ohuthieanalyysillä sekä määritettiin kloridipitoisuus. Lisäksi kannen ala- ja sivupinnan poranäytteistä määritettiin karbonatisoitumissyvyys.

Tutkimusten perusteella kansilaatan yläpinnassa ajoratojen alueella todettiin olevan erillinen muotoiluvalu, joka oli irti alustastaan. Muuten kansilaatan yläpinta osoittautui hyväkuntoiseksi, eikä se sisältänyt klorideja. Tulosten perusteella vedeneriste ei ole vuotanut kannen keskialueella, vaan vesivuodot keskittyvät kannen reunoilla oleviin kaapeli- ja putkikanaviin. Vesivuodon johdosta kannen alapinnan betonin vetolujuus oli alentunut kannen reunoilla. Kloridipitoisuus oli kohonnut kannen sivupinnoilla. Kivirakenteiden kuntoa ei tutkittu, silmämääräistä havainnointia lukuun ottamatta. Rakenteiden kuntoa käsittelevät laboratoriotutkimustulokset saatiin pdf-tiedostomuodossa.

### 3.4.3 Muiden lähtötietojen kokoaminen

Siltapaikalla ja sillan rakenteissa olevien kaapelien ja putkien sijaintitietoa selvitettiin kaapelien ja putkistojen omistajilta sekä Helsingin kaupungin kiinteistövirastolta saata-

van johtotietoselvityksen avulla. Lähteistä saatiin lähtötiedoiksi useassa eri tiedosto formaatissa olevaa tietoa. Vastaanotettu tieto on eritelty tarkemmin lähtötietoaineistoluettelossa, joka on esitetty tutkimuksen liitteissä (Liite 2).

### **3.4.4 Lähtötietomallin kokoaminen**

Erikoistarkastusvaiheessa tuotettu korjaussuunnittelun lähtötieto koottiin Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohjeesta [4] sovellettuun kansiorakenteeseen, josta on kerrottu tarkemmin tutkimuksen luvussa 3.3.3. Rakenteen geometria mallinnettiin sillan nykytilamalliin sillan alkuperäisten suunnitelmien ja laserkeilauksen sekä kaikuluotauksen tuotetun aineiston perusteella.

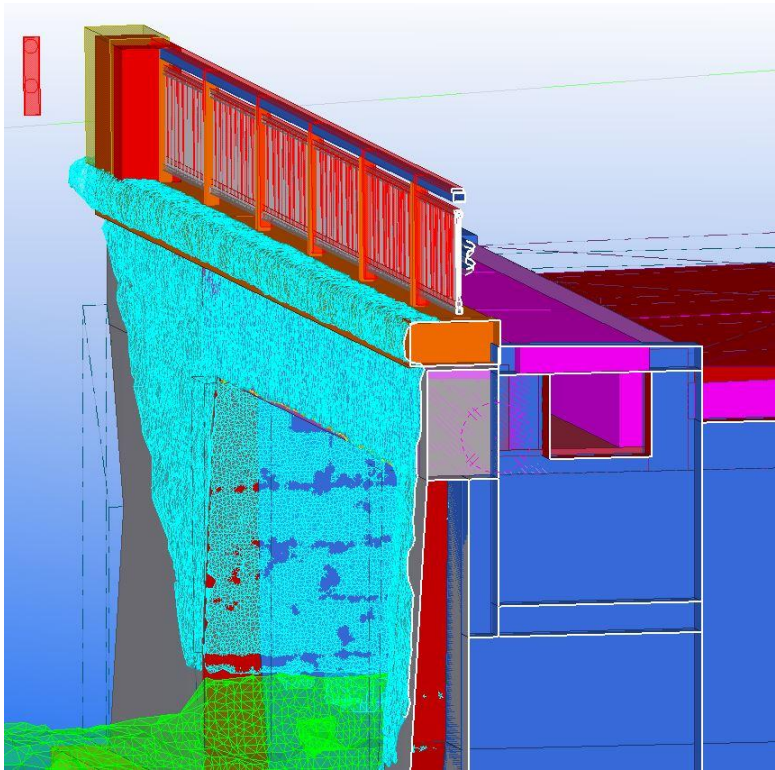
Lähtötietoja harmonisoitiin tarvittavilta osin tietomallin lähtötiedoiksi sopivaan muotoon ja osaa tiedoista hyödynnettiin tulkitsemalla tieto suoraan aineistosta. Toimenpiteistä on kerrottu tarkemmin alaluvussa. Erikoistarkastusvaiheessa koottu aineisto ja sille tehdyt muokkaustoimenpiteet dokumentoitiin lähtöaineistoluetteloon (Liite 2).

Erikoistarkastusvaiheessa luotiin lähtötietomalli, johon sillan korjaussuunnittelun lähtötiedot mallinnettiin. Lähtötietomalliin koottiin aiemmin tutkimuksessa (Kuva 11) esitetty lähtötietomallin sisältö. Lähtötietomallin sisältöä kuvattiin lähtötietoselostuksessa.

#### **Nykytilamalli**

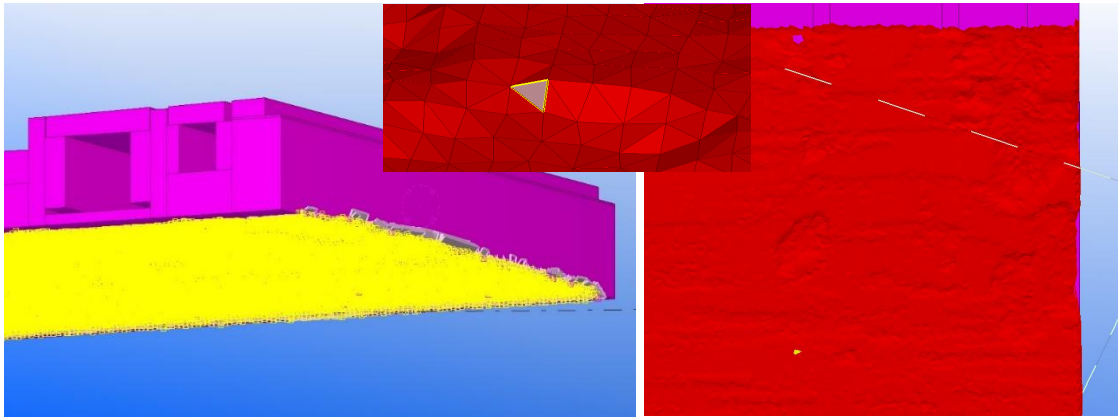
Rakenteen geometriasta oli saatavilla lähtötiedot pdf-tiedostomuodossa. Rakenteen geometria mallinnettiin pdf-tiedostojen perusteella käyttäen alkuperäisten suunnitelmien mukaisia mittoja ja suunnitelmista saatavaa tietoa rakenteista. Alkuperäisten suunnitelmien mukaan mallinnettu silta asetoitiin globaaliin koordinaatistoon siltapaikkaa kuvaavaan pistepilveen perustuvan kolmiopinnan avulla. Alla olevassa kuvassa (Kuva 39) sillan mallinnettua rakennetta asemoidaan laserkeilauksen avulla tuotetun pintamallin perusteella oikeaan asemaansa. Sillan alusrakenteet ovat luonnonkiviverhoiltuja, joten rakenteen pinta on epätasainen. Kivirakenteen pinta on mallinnettu tasaisena alkuperäisten suunnitelmien perusteella ja asetoitu vastaamaan todellisen rakenteen keskimääräistä pintaa.





**Kuva 39:** Sillan geometrian asemointi laserkeilattuun kolmioverkkoaineistoon. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Kannen alapinta laserkeilattiin 20x20mm ruudulla. Pistepilviaineisto muokattiin Tekla Civilin avulla XML-tiedostomuotoon, jonka avulla voitiin tuoda laserkeilattu pinta Tekla Structures malliin. Tuodun XML-tiedoston avulla pystyttiin luomaan tilavuusobjekteja, joiden pinta kuvasi kannen alapinnan tasoa. Näitä objekteja käytettiin mallissa apuna muodostettaessa sillan kansilaatan alapintaa kuvaavaa geometria. Alla olevassa kuvassa (Kuva 40) on esitetty näkymä pienistä kolmioista koostuvasta kannen alapinnan geometriasta. Vasemmanpuoleisessa kuvassa kolmiot ovat valittuna niiden laskemiseksi ja oikealla on kannen alapinta kuvattu alhaaltapäin katsottuna. Alhaalta katsotussa kuvassa näkyy kannen reunalla pitkälle edenneen pakkasrapautumisen vaurioittamaa pintaa. Oikean puoleisessa kuvassa keltaisella näkyy erittäin pienenä yksittäinen kolmio, jolla pintaa on kuvattu. Kuvan keskellä on lisäksi esitetty kolmiopinnasta suurennettu yksityiskohta.



**Kuva 40:** Sillan alapinnan geometria, mallinnettuna 20x20 kolmioista koostuvilla objekteilla. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Kannen yläpinnan muoto mallinnettiin alkuperäisten suunnitelmien perusteella. Kannen yläpinnan muotoa tarkasteltiin myös siltatutkatun aineiston avulla. Siltatutkauksen tuottamat tulokset muunnettiin Tekla Civilin avulla XML-tiedostomuotoon, kuten kannen alapinnan geometria ja tiedot kannen yläpinnan geometriasta tuotiin tilavuusobjekteina lähtötietomalliin.

Maanpintaa ja asfaltin yläpinnan tasoa kuvattiin laserkeilatusta aineistosta alikonsultin toimesta tuotetulla pintamallilla. Pintamalli tuotiin referenssinä TS-malliin.

### **Edellinen suunnitteluvaihe**

Edellisen suunnitteluvaiheen eli vuonna 1993 sillalle tehtyjen korjausten osalta lähtötiedot olivat saatavina pdf-muodossa. Toteutuneet korjaussuunnitelmat mallinnettiin suoraan pdf-tiedostojen pohjalta osaksi lähtötietomallia.

Edellisen suunnitteluvaiheen aineisto sisällytettiin myös lähtötietomallin kansiorakenteeseen. Tietomalliselostuksessa kuvattiin toteutuneen korjaussuunnitelman sisältö ja se kuinka suunnitelma on mallinnettu osaksi lähtötietomallia.

### **Liittyvät tekniikkalajit**

Liittyvät tekniikkalajit pitävät sisällään siltapaikalla olevat sähkö- ja telekaapelit sekä vesijohto- ja kaukolämpöputket. Lähtötietojen tiedostomuodot vaihtelivat erityisesti tämän lähtötietoaineiston kohdalla, kuten liitteestä (Liite 2) nähdään.

Kaapelien ja putkien sijainti saatiin selvitettyä johtotietokartan perusteella. Johtotietokartta saatiin dwg-tiedostona, joka oli sidottu koordinaatistoon. Koordinaatistoa siirtämällä lähtötietomallin origoon saatiin johtotietokartta asemoitua lähtötietomalliin, jolloin johtotietokartassa esitetyn aineiston sijainti xy-tasossa saatiin mallinnettua. Kaapelien ja johtojen korkeusasemasta ei ollut saatavilla tietoa, joten korkeusasema arvioitiin sillan rakenteissa olevien varausten korkeusaseman perusteella. Samoin meneteltiin vesijohto-putken kohdalla, jonka korkeusasemasta ei ollut saatavilla julkaistavaa tietoa. Vesijohdon omistajan kanssa käydyn keskustelun perusteella vesijohdolle saatiin suuntaa antava korkeusasema. Kaukolämpöputken korkeusasema saatiin selvitettyä putken alkuperäisestä suunnitelmasta, jossa oli esitetty putken korkoja putken taitekohdissa. Tiedot saatiin tiff-

tiedostona, josta piirrettiin dwg-tiedostoon putken taitekohdat. Dwg-tiedostoa hyödynnettiin mallissa referenssitiedostona putken asemoinnissa. Putken tunnetut taitekohdat saatiin asemoitua lähtötietomalliin ja syötettyä niille korkeusasema alkuperäisessä suunnitelmassa esitettyjen lukuarvojen perusteella. Lisäksi johtokartta tallennettiin osaksi lähtötietomallin kansiorakennetta.

### **Korjaussuunnittelun lähtötiedot**

Sillan rakenteille tehdyt tutkimukset ja siltapaikalla tehdyt silmämääräiset merkittävät havainnot mallinnettiin lähtötietomalliin. Tutkimustulokset ja paikat, joista näytteet oli otettu, olivat saatavilla pdf-tiedostoina, joiden perusteella tulokset ja näytteenottokohdat mallinnettiin. Havaintojen ja tutkimustulosten tietosisältö sisällytettiin tutkimusta tai havaintoa kuvaavaan objektiin käyttämällä UDA-tietokenttää. Tiedon sijainti mallissa selostettiin lähtötietoselostuksessa. Tutkimustulokset saatiin näin ollen korjaussuunnittelijan käyttöön sekä tietomallipohjaisesti että perinteisenä pdf-muotoisena raporttina, joka erikoistarkastuksesta laadittiin. Erikoistarkastuksen tulokset ja erikoistarkastusraportti liitettiin osaksi lähtötietomallin kansiorakennetta.

## **3.5 Korjaussuunnittelu**

Tässä luvussa käsitellään case-sillan korjaussuunnitelman laatimista ja sen sisältöä. Lisäksi käsitellään korjaussuunnitelman mallintamista ja suunnitelmapiirustusten tuottamista.

Korjaussuunnitelman lähtötietoina ja perustana käytettyä lähtötietomallia jatkojalostettiin korjaussuunnitteluvaiheessa. Sillan geometria, siltapaikan rakenteet ja aiemmat korjaustoimenpiteet oli mallinnettu valmiiksi lähtötietomalliin. Korjaussuunnitteluvaiheessa mallinnettiin sillan tuotemalli, josta käytetään korjaushankeen yhteydessä nimitystä korjaussuunnitelmamalli. Korjaussuunnitelmamalli kuvaa sillalle tehtävät korjaustoimenpiteet. Korjaussuunnitelmamallin tiedot yhdistettiin lähtötietomallin kuvaamiin siltapaikan rakenteisiin, jolloin saatiin luotua koko siltapaikkaa kuvaava yhdistelmämalli. Suunnitelmien mallintaminen toteutettiin Siltojen tietomalliohjeessa [3] ja Taitorakenteiden tietomallinnusohjeessa [6] kuvattuja käytäntöjen mukaisesti.

### **3.5.1 Korjausmenetelmien valinta**

Sillalle toteutettavien korjausmenetelmien valinta ja korjaussuunnittelu eteni aiemmin tutkimuksessa (luku 2.1.5) kuvatulla tavalla. Rakenteiden kunnosta ja vaurioista erikoistarkastusvaiheessa tuotetun tiedon perusteella tehtiin periaatepäätökset sillan korjaamiseksi. Sillan ylläpidosta vastaavalle taholle esiteltiin rakenteen korjaamiseksi valitut korjausperiaatteet rakenneosa- ja vauriokohtaisesti. Korjausperiaatteista sovittiin yhdessä sillan ylläpitäjän kanssa, jonka jälkeen jatkettiin korjaustöiden tarkentamista korjaustöiden valintaan, jossa valittiin yksittäiset toimenpiteet vaurioiden korjaamiseksi.

Sillan vakavimmat vauriot olivat kannen reunoilla pitkälle edenneet vesivuoto- ja rapautumavauriot. Vauriot korjataan poistamalla vaurioitunut betoni ja korvaamalla se uudella ruiskubetonoinnilla. Vaurioitumisen uusiutuminen estetään uusimalla sillan vedeneristys ja parantamalla vedeneristysalustaa. Lisäksi siltarakenteissa oli muita merkitykseltään pienempiä korjattavia vaurioita. Kaikki sillalle tehtävät korjaustoimenpiteet ovat seuraavat:

- Pintarakenteet uusitaan ja kannen yläpinnan irtonainen muotoiluvalu poistetaan ja korvataan uudella muotoiluvalulla.
- Sillan reunapalkit uusitaan. Kiviset reunapalkit ja ukkopylväät poistetaan ja tehdään uusi betoninen reunapalkki. Uudet reunapalkit geeli-impregnoidaan.
- Kannen reunoilla kaapeli- ja putkikanavien elementtikansien saumat tiivistetään.
- Kaapeli- ja putkikanavien pohjat muotoillaan, tehdään vedeneristys, tippuputket ja kanavointi.
- Sillan kannella uusitaan tippuputket ja kanavointi.
- Kannen alapinnan reunoilla rapautunut betoni ja kannen pystypinnan kloridipitoinen betoni poistetaan vesipiikkaamalla ja uusitaan ruiskubetonoinnilla.
- Kannen keskialueella alapinnan yksittäiset vauriot kunnostetaan paikkaamalla.
- Kannen ala- ja sivupinta pinnoitetaan.
- Kaiteet uusitaan. Sillalle tehdään korkea verkkokaide, joka varustetaan kiipeilyn estävällä suojalevyllä. Sillan ulkopuolella tehdään yhdistetty kevyt- ja tiekaide.
- Sillan päihin tehdään vedeneristeeseen liikuntasaummat.
- Tulopenkereiden päällyste uusitaan 10 m matkalla sillan päistä.
- Alusrakenteiden vaurioituneet kivirakenteen saumaukset uusitaan.
- Keilat siistitään ja kivien välit saumataan.
- Rakenteet puhdistetaan töhryistä ja vesivuotojen valumajäljistä.

### 3.5.2 Korjaussuunnitelman mallin organisointi

Korjaussuunnitelman mallintamista varten luotiin listaus tarvittavista phase- ja class-tasoista mallin organisoimiseksi. Listausta päivitettiin ja täydennettiin tarpeen mukaan mallintamisen edetessä. Edellä mainitut tiedot on esitetty lopullista korjaussuunnitelmaa kuvaavassa tietomalliselostuksessa, joka on esitetty myös työn liitteenä (Liite 1).

Phaseilla päätettiin kuvata mallinnusohjeiden mukaisesti ensin sillan määräluettelon numerointiin perustuen olemassa olevat sillan rakenteet ja muu mallinnustekninen tieto. Omille phaseilleen jaettiin vielä, edellisen numeroinnin perusteella jaotelluista rakennekokonaisuuksista, purettavat rakenteet. Lisäksi jokainen korjaustoimenpide, joita käsiteltiin edellisessä luvussa, eroteltiin omalle phaselleen. Tämä mahdollistaa mallin käyttäjän kannalta havainnollisen mallin käyttämisen, jossa mallista voidaan suodattaa näkyviin tehtävät korjaustoimenpiteet omina kokonaisuuksinaan.

Class-numerointi päätettiin toteuttaa sillantarkastuskäsikirjan mukaisesti, jossa sillan eri rakenneosille on esitetty nimike ja sitä vastaava numero. Rakenneosien numerointi on

tarkoitettu sillantarkastajien käyttöön, joilla kohdistetaan vauriohavainnot sillan ja silta-paikan eri rakenneosille. Tästä johtuen rakenneosat on esitetty karkealla tarkkuustasolla ja niitä jouduttiin osin tarkentamaan tietomallin vaatimusten mukaisiksi, jotta rakenneosat saatiin eroteltua riittävän havainnollisesti ja toimivasti mallinnuksen kannalta. Liian karkea numerointi aiheuttaa mallin käytettävyyden kannalta ongelmia, kun mallia ei voida suodattaa riittävän monipuolisesti.

Rakenneosien materiaalitiedoille luotiin malliin uusia materiaaleja, jotka vastaavat mallinnusohjeissa mainittuja materiaaleja. Materiaaliominaisuuksien nimitykset pohjautuvat mallinnusohjeissa [3] ylläpitomallille annettuihin vaatimuksiin.

### 3.5.3 Korjaustöiden mallintaminen

Yksittäiset korjaustyöt ja niihin liittyvät toimenpiteet mallinnettiin mahdollisimman tarkasti ja jaoteltiin korjaustyötä kuvaavalle phase-tasolle. Mallinnukseen käytettiin ohjelman omia työkaluja sekä suunnittelutoimiston itse kehittämiä lisäosia. Lisäosia tarvittiin lähinnä toisesta tiedostoformaattista tuotavan aineiston tuomiseen malliin. Alla olevissa kappaleissa on kuvattu jokaiseen korjaustyöhön liittyvät mallinnetut asiat. Tämän lisäksi jokaiseen mallinnettuun rakenneosaan lisättiin korjaustyön laadunvarmistuksen ja työn toteuttamisen kannalta tarvittavat SILKO- [60], InfraRYL- [61] ja tyyppipiirustusviitaukset [62] käyttämällä objektiikohtaisia UDA-kenttiä.

Pintarakenteiden ja irtonaisen muotoiluvalun uusiminen mallinnettiin tilavuusobjekteilla. Nykyinen pintarakenne kuvattiin yksinkertaistetusti. Nykyisen asfaltin yläpintaa kuvattiin laserkeilauksen perusteella tuotetulla pintamallilla. Vedeneriste- ja muotoiluvalukerrokset mallinnettiin tilavuusobjekteina, jotka sijoitettiin poistettavien pintarakenteiden phasele. Uusi muotoiluvalu, vedeneriste ja päällystekerrokset sillan kannella sekä sillan päissä mallinnettiin omina tilavuusobjekteinaan todellisia rakennekerroksia vastaavasti. Päällysteen yläpinnan taso luotiin laserkeilattuun aineistoon perustuvilla tilavuusobjekteilla. Tilavuusobjekteja jouduttiin sovittamaan manuaalisesti laserkeilattun pinta-malliaineiston tasoon, jolloin päällysteen yläpinta saatiin kuvaamaan keskimäärin laserkeilattua pintaa. Erot aineistojen välillä syntyvät, koska yksittäinen kolmiomainen tilavuusobjekti kuvasi suurta pinta-alaa kannesta. Laserkeilattu pintamalli koostui pienistä kolmioista, joka toisti päällysteen pinnan epätasaisuudet tarkemmin. Lisäksi päällysteen vaatimat saumat mallinnettiin tilavuusobjekteina.

Reunapalkkien uusiminen esitettiin sijoittamalla nykyiset reunapalkit purettavien rakenteiden phasele ja mallintamalla uudet reunapalkkirakenteet. Reunapalkit pitivät sisälleen rakenteen geometrian ja raudoituksen, tarvittavine tartuntoineen nykyiseen rakenteeseen. Kannen ja maatuen reunapalkkien väliin mallinnettiin lisäksi reunapalkin liikunta-sauma. Reunapalkki suunniteltiin vastaamaan nykyisiä ohjeita reunapalkin mitoista ja raudoituksesta, lisäksi otettiin huomioon reunapalkin liittyminen olemassa olevaan rakenteeseen.

Kannen reunojen elementtisaumojen tiivistäminen esitettiin mallissa täyttämällä kannen reunan elementtien saumat laattatyökalulla mallinnetuilla tilavuusobjekteilla.

Kannen reunoilla kaapeli- ja johtokanavien pohjan muotoilun geometria mallinnettiin erillisenä muotoiluvaluna, jonka pinnan viettokaltevuudet viettävät haluttuun suuntaan. Rakenteeseen lisättiin tippuputket haluttuihin kohtiin käyttämällä valmista komponenttia komponenttikirjastosta. Kanavien pohjiin mallinnettiin vielä vedeneristys ja vedeneristyksen liittyminen maatumien kiinteisiin rakenteisiin liikuntasaumalla.

Kannella uusittavat tippuputket mallinnettiin myös valmiina komponentteina. Tippuputkien välille tuleva kanavointi mallinnettiin tilavuusobjektina kanavoinnin oikean tilavaruuden ja sijainnin hahmottamiseksi.

Kannen reunoilla uusittava rapautunut ja kloridipitoinen betoni mallinnettiin purettavalle phaselle. Suunniteltu piikkauksen rajapinta mallinnettiin ohuina laattaobjekteina ja sijoitettiin omalle piikkausrajoja kuvaavalle phaselle. Uudet ruiskubetonoitavat rakenneosat mallinnettiin tilavuusobjektina, joille annettiin ruiskubetonoinnin ominaisuuksia kuvaavia ominaisuuksia ja objektit sijoitettiin korjaustyötä käsittelevälle phaselle.

Kannen alapinnan yksittäisten vaurioiden korjaaminen piikkaamalla ja paikkaamalla esitettiin mallissa käyttämällä pintaa, jonka alueella kyseinen korjaustyö tullaan tekemään. Pintaan päädyttiin koska tarvittavaa sijainti- ja laajuustietoa paikattavista kohdista ei ollut saatavilla. Koska korjattavan alueen kuvaamiseen käytettiin pelkkää pintaa, ei sen perusteella voida laskea määrätietoja mallista. Piikkaus- ja paikkausmäärät joudutaan arvioimaan määräluetteloon erikoistarkastuksessa tehtyjen havaintojen perusteella.

Kaiteiden uusiminen toteutettiin sijoittamalla nykyinen kaide purettavien rakenteiden phaselle ja mallintamalla uusi kaiderakenne. Uusi kaide toteutettiin muokkaamalla valmista kaidekomponenttia nykyisten ohjeiden ja kohteen vaatimusten mukaisiksi. Tietomalliohjeen mukaisesti kaiderakenteeseen kuuluvia kiinnikkeitä ja pieniä osia, kuten pultteja ja muttereita, ei mallinnettu. Kaiteissa viitattiin tarkempaan tyyppipiirustussarjaan, jossa kaiderakenne on esitetty yksityiskohtaisesti. Lisäksi pengerkaide ja sen korotusosa mallinnettiin sillan ulkopuolelle. Kaiteen pituus ja kaidelinja käyvät ilmi mallinnetuista objekteista.

Sillan päihin tehtävät vedeneristeen liikuntasauhat mallinnettiin tilavuusobjekteina. Liikuntasauhan vaatimat muutokset vedeneristeeseen esitettiin mallissa. Samoin liikuntasauhan alle tehtävät laastitasoitukset mallinnettiin. Kaikki mallinnetut objektit sijoitettiin liikuntasauhan toteuttamista koskevalle phaselle.

Tulopenkereiden päällysteen uusiminen mallinnettiin tilavuusobjektina. Uuden päällysteen yläpinta mallinnettiin pistepilviaineistosta yksinkertaistetun pinnan avulla.

Alusrakenteiden ja keilojen saumaus ja puhdistus mallinnettiin etumuurien osalta pinnana, jolla osoitettiin alue johon toimenpide kohdistuu. Keilojen osalta koko keilarakenne sijoitettiin korjaustyötä käsittelevälle phaselle.

Lisäksi korjaussuunnitelmamalliin mallinnettiin liikennejärjestelyt yksinkertaistetuilla objekteilla. Objektien class-numeroinnin perusteella ne jaettiin kuvaamaan ajoneuvoille työaikana varattuja kaistoja, kevyen liikenteen kaistoja, liikenteenohjauksen tarvitsemia tilanvarausta ja työskentelyaluetta. Objektit sijoitettiin eri liikennejärjestelyjen vaihetta kuvaavalle phaselle, joiden avulla suodattamalla voidaan kunkin vaiheen liikennejärjestelyt havainnollistaa.

### 3.5.4 Korjauspiirustusten tuottaminen

Vaikka korjaussuunnittelu toteutettiin tietomallintamalla, korjauksesta laadittiin suunnitelmapiirustukset perinteisessä muodossa, paperisena. Suunnitelmien sisällöstä on annettu ohjeet [34]. Ohjeita ollaan päivittämässä tietomallipohjaisen suunnittelun vaatimuksia varten [35]. Tämän tutkimuksen yhteydessä tuotettiin nykyisiä ohjeita vastaavat suunnitelmapiirustukset, jotka on esitetty tutkimuksen liitteenä (Liite 4).

Suunnitelmapiirustusten tuottamiseen käytettiin Tekla Structures – ohjelman piirustusten tuottamiseen tarkoitettuja työkaluja. Mallista luotiin näkymiä piirustustilaan, jossa näkymästä pystyttiin luomaan edelleen leikkauksia ja yksityiskohtaisempia detaljeja. Piirustustilassa näkymille voitiin luoda omia suodattimia, joiden perusteella kyseisessä näkymässä esitettäviä asioita saatiin näkyviin ja jaoteltua karkeasti eri viivatyyleille. Näkymään saadaan esiin myös mallinnettuun objektiin liittyviä ominaisuustietoja. Lisäksi piirustustilassa voidaan lisätä esitettävään suunnitelmapiirustukseen tekstiä ja viitenuolia, jotka eivät linkity varsinaiseen tietomalliin.

Uusien betonirakenteiden yhteydessä esitettiin suunnitelmapiirustuksissa myös rakenteiden raudoitukset. Tarvittavat raudoitukset oli mallinnettu, jolloin niistä pystyttiin tuottamaan piirustukset mallin pohjalta. Raudoitusten positionumerot, lukumäärä ja mitat saatiin esitettyä suoraan mallinnetun tiedon perusteella. Myös raudoitusluettelo pystyttiin tuottamaan suoraan mallinnettujen terästen perusteella, viemällä raudoitusten mitta- ja lukumäärätiedot raudoiteluettelo-ohjelmaan. Koko korjaussuunnitelman sisällön kuvavaa määräluetteloa ei vielä tällä hetkellä mallinnettujen objektien perusteella pystytä tuottamaan. Määrätietoja tulkittiin mallista mittaamalla ja tuottamalla määrätietoja yksittäisistä objekteista raporttipohjilla.

## 4 TULOKSET JA HAVAINNOT

Tässä luvussa kuvataan tutkimuksen toteutuksen aikana esiinnousseita tuloksia ja havain-  
toja. Alaluvuissa käsitellään sillan erikoistarkastus ja korjaussuunnitteluvaiheessa tehtyjä  
havaintoja tietomallintamisen teknisestä toteutuksesta, tarkastellaan korjaussuunnitelmaa  
kuvaavan tietomallin sisältöä ja sen vastaavuutta tietomallintamista käsittelevään ohjeis-  
tukseen sekä kommentoidaan tutkimuksessa pilotoitavana olleita ohjeita. Lisäksi luodaan  
katsaus tietomallintamisen nykytilaan tutkimuksen aikana eri tietomallintamiseen pereh-  
tyneiden suunnittelutoimistojen henkilöstön ja tutkijoiden kanssa käytyjen keskustelujen  
perusteella.

### 4.1 Tietomallintamisen nykytila Suomalaisessa infrara- kentamisessa

Tietomallintamisen nykytilaa selvitettiin keskustelemalla alalla toimivien ja tietomallin-  
tamista käytännön kohteissa hyödyntäneiden asiantuntijoiden kanssa. Yleisenä havain-  
tona kaikista keskusteluista voidaan sanoa, ettei tietomallintaminen vielä ole saavuttanut  
vakiintunutta asemaa käytännön hankkeissa. Sekä suunnittelun että työmaan osalta ele-  
tään vielä kehitysvaihetta, jossa haetaan toimintatapoja ja rutiineja. Yleisesti tietomallin-  
taminen koetaan havainnolliseksi tavaksi esittää suunnitelmia. Kaikki toteutetut käytän-  
nön kohteet ovat olleet uudiskohteita, tätä ja toista tutkimusta lukuun ottamatta.

**A-Insinöörit Suunnittelu Oy** on tehnyt noin kymmenen siltakohdetta mallintamalla.  
Suunniteltujen kohteiden määrä lisääntyy noin kahteenkymmeneen, kun mukaan lukuun  
otetaan muut infrarakenteet, kuten paalulaatat, tukimuurit ja portaat. Tietomallintamalla  
toteutetut kohteet ovat kaikki uudiskohteita, eikä yhtään korjaussuunnitelmaa ole vielä  
toteutettu mallintamalla. Mallinnetut kohteet ovat pitäneet sisällään muun muassa teräs-  
ja betonirakenteiden suunnittelua. Mallinnuksen haasteiksi on koettu rutiinien puute,  
koska toimintatavat ja järkevät mallinnustekniikat vielä kehittyvät. Samoin raudoitusten  
mallintaminen on joissain kohteissa osoittautunut haastavaksi. Tietomallintamisen hyö-  
tyinä nähdään suunnitelman havainnollisuus suunnittelijalle. Rakenteesta saadaan esiin  
ongelmakohtia, jotka vaativat tarkempaa esitystyylä tai suunnittelua. [63].

**Ramboll Finland Oy** on tehnyt myös kymmeniä siltakohteiden suunnitelmia mallin-  
tamalla. Kohteet ovat olleet uudiskohteita. Toteutetut kohteet ovat olleet hankkeen eri  
vaiheissa ja laajuudeltaan vaihtelevia. Siltakohteet ovat yleensä olleet useamman sillan  
kokonaisuuksia osana laajempaa tiehanketta. Yksittäisiä siltoja on myös toteutettu pilot-  
tikohteina tietomallipohjaisen suunnittelun edistämiseksi. Mallinnuksen haasteeksi on  
koettu geometrian mallintaminen ohjelmistoteknisistä rajoituksista johtuen. Haasteena



nähdään myös tietomallintamisen ohjeistuksen soveltaminen erityyppisissä kohteissa. Liian tiukoilla vaatimuksilla ja ennakkoon määritetyillä toimintatavoilla voidaan vaikeuttaa tietomallin laatimista. Tästä syystä tulisikin miettiä, mitä kannattaa mallintaa ja mikä on mallintamisen tarkkuustaso, jotta tietomallipohjaisista suunnitelmista saadaan haluttu hyöty niin tilaajan kuin työmaan tarpeisiin. Tietomallintamisen hyötyjä nähdään kuitenkin selkeästi enemmän kuin haasteita. Keskustelussa nousi esiin tietomallintamisen havainnollisuus suunnittelijan näkökulmasta. Tietomallin kolmiulotteisen geometrian ansiosta ristiriidat suunnitelma-asiakirjojen välillä vähenevät ja laatu paranee. Samoin eri tekniikkalajien yhteentörmäykset saadaan havainnollisten suunnitelmien ansiosta karsittua pois. Lisäksi kohteen määrätiedot ovat selkeästi luettavissa ja tulostettavissa mallista. Tietomallintamisen nykytilaa voidaan arvioida toteamalla tietomallintaminen saavuttaneen arkipäiväisen käytön tason. Tietomallintaminen on osa jokapäiväistä suunnittelutyötä, vaikka kaikissa projekteissa ei ole siirrytty mallipohjaiseen suunnitteluun. Kokonaisuutena tietomallintamisessa ollaan kehitysvaiheessa, jossa hankkeen osapuolten välinen keskustelu korostuu. Jatkuvan kehityksen myötä haetaan osapuolille sopivia toiminta- ja esitystapoja. Hankekohtaisesti tulisi miettiä mitä hyötyjä tietomallista saadaan ja missä laajuudessa mallintamista on järkevää toteuttaa. Tärkeintä on muistaa, että mallintamista tehdään rakentamista ja ylläpitoa varten, ei pelkkää tietomallia varten. [64].

**Sito Oy** on toteuttanut Helsingin kaupungin rakennusviraston tilauksesta diplomi-työn, joka käsittelee siltojen korjaussuunnittelua tietomallintamalla. Työssä käytettiin pohjana käytännön case-kohdetta, kuten tässä tutkimuksessa. Kohteena toimi teräsbetoninen risteyssilta, jolle suunniteltiin peruskorjaus. Peruskorjaus piti sisällään muun muassa reunapalkkien ja pintarakenteiden uusimisen. Mallintamisen haasteiksi koettiin geometrian mallintaminen. Kyseisen sillan poikkileikkaus oli muuttuva, jonka johdosta geometrian mallintaminen oli haastavaa ja vaati ajallista panosta. Samoin ajankäyttöön vaikutti se, että mallintamalla joudutaan mallintamaan koko sillan geometria. Perinteisellä menetelmällä tuotetussa suunnitelmassa voidaan esimerkiksi esittää poikkileikkaus, jossa halutut korjaustoimenpiteet esitetään, piirtämättä koko rakennetta. Näin ollen yksittäisen leikkauksen tarkkuustasoon voidaan vaikuttaa sitä piirrettäessä. Toisaalta mallin koettiin auttavan geometrian ja suunnitelman hahmottamisessa ja olevan havainnollinen. Mallin havainnollisuus nousi suunnittelijan kannalta esiin sillan nykyistä geometriaa mallinnettessa, jolloin laserkeilattu pintamalli auttoi hahmottamaan olemassa olevan rakenteen geometriaa suunnitelmapiirustusten tukena. [65]. Uudiskohteita on toteutettu kymmenkunta. Toteutettujen kohteiden joukossa on sekä yksittäisten siltojen rakennussuunnittelua että siltasuunnitelmia. Ratasuunnitelmavaiheessa on toteutettu myös laaja yhdistelmämalli rata- ja siltarakenteista. Kaikista kohteista on tuotettu tietomallin pohjalta suunnitelmapiirustukset. Tietomallintamisen prosessissa koetaan olevan vielä kehittämisen varaa. Koko projektia ei viedä vielä tietomallipohjaisesti läpi. Vaikka suunnittelijat kykenevät jo tuottamaan tietomallipohjaisia suunnitelmia, niitä ei hyödynnetä täysipainoisesti tuotannossa eikä ylläpidossa. Osasyynä tähän voi olla, että siltarakenteet koostuvat pääasiassa paikallavaletusta betonista. Tästä syystä rakennustuoteteollisuus ei ole ajanut

mallintamista siltojen kodalla eteenpäin yhtä voimakkaasti kuin talopuolella, jossa valmisosien käyttö on yleisempää. Tietomallin pohjalta tuotettavat suunnitelmapiirustukset koetaan haasteeksi, koska piirustusten tuottamiseen joudutaan käyttämään suhteellisen paljon aikaa. Varsinkin tässä kehitysvaiheessa kun suunnitelmapiirustusten esitystapa pyrkii vastaamaan perinteisellä tavalla tuotettuja suunnitelmia. [66].

**Oulun yliopisto** on ollut pitkään mukana tutkimassa tietomallintamista. Siltojen korjaussuunnittelu on ollut mukana tutkimuksessa noin 10 vuoden ajan. Pilottikohteista voidaan mainita muun muassa Kajaanin varikkosilta, Pyhäjoen silta ja Oulun tiepiirin alueella tehty 5 sillan laserkeilaaminen. Projektien yhteydessä laserkeilattiin olemassa olevia rakenteita, mallinnettiin uusia rakenteita ja tutkittiin mallintamiseen liittyviä käytäntöjä ja tarkkuustasoa. Tietomallipohjaisen suunnittelun etuina voidaan pitää kolmiulotteisen maailman havainnollisuutta. Olemassa olevia rakenteita voidaan laserkeilata suhteellisen edullisesti. Keilatusa aineistosta voidaan tuottaa havainnollista ja tarkkaa lähtötietoa suunnittelun tarpeisiin, mitata esimerkiksi pinnoitettavia pinta-aloja olemassa olevasta rakenteesta tai seurata rakenteen muodonmuutoksia määrävälein toistettavilla mittauksilla. Mittaustuloksiin voidaan liittää myös värimäärittelyjä valokuvien perusteella, jolloin esimerkiksi vaurioituneet alueet rakenteessa saadaan havainnollisesti nostettua esiin. Tietomallipohjainen suunnittelu on uudissiltojen suunnittelussa otettu laajamittaisesti käyttöön. Tietomallipohjainen suunnittelu on käytössä erityisesti suurissa väylähankkeissa. [67].

Urakoitsijoista **YIT Oyj** on toteuttanut ensimmäisen tietomallipohjaisen infrakohteensa Kehä III parannushankkeessa. Työmaahan kuului kaksi siltaa, tukimuurirakenteita ja paalulaattoja. Tietomallin käytön haasteeksi työmaalla koettiin, ettei työmaalla normaalisti käytettävissä olevalla tietokonekalustolla saada avattua natiivimalleja. Tietomallien hyödyntäminen vaati erikoisjärjestelyjä niin tekniikan kuin henkilöstönkin puolesta. Työmaan käytössä oli henkilöstön puolesta vain yksi henkilö, joka pystyi hyödyntämään tietomallien sisältämää tietoa ja tuottamaan aineistoa kohteiden toteutuksen tarpeisiin. Toteuttavalle tasolle tietomallista on pystyttävä tuottamaan paperinen piirustus, jolla tehtävä työsuoritus pystytään kuvaamaan. Tietomallia ei hyödynnetty kenttäolosuhteissa, jossa paperinen suunnitelma kestää käyttöä huomattavasti tietokonetta paremmin. Positiiviseksi puoleksi koettiin tietomallin havainnollisuus. Esimerkiksi raudoituksen esittäminen kolmiulotteisessa muodossa auttaa havainnoimaan suunnitellun rakenteen. Tietomallia hyödynnettiin myös määrälaskentaa tehtäessä, jota haastateltu henkilö ei itse ollut mukana toteuttamassa. Määrätiedot kohteista tuotettiin tietomallin pohjalta tulostamalla ja mittaamalla tiedot mallista. Kokonaisuutena tietomallintaminen koetaan jäävän vielä miinuksen puolelle. Havainnollisuudestaan huolimatta mallia ei pystytty hyödyntämään täysipainoisesti työmaalla. Tietomallien käytön todettiin kuitenkin olevan tulevaisuutta, johon tulee varautua. [68].

## 4.2 Tietomallin tekninen toteutus

### 4.2.1 Rakenteen geometrian mallintaminen

Rakenteiden geometrian mallinnustarkkuudelle ei varsinaisesti ole asetettu selvää tavoitetasoa tietomalliohjeissa. Ohjeissa on eritelty yksittäisiä rakenneosia, jotka tulee mallintaa, muttei rakenneosien mittatarkkuutta.

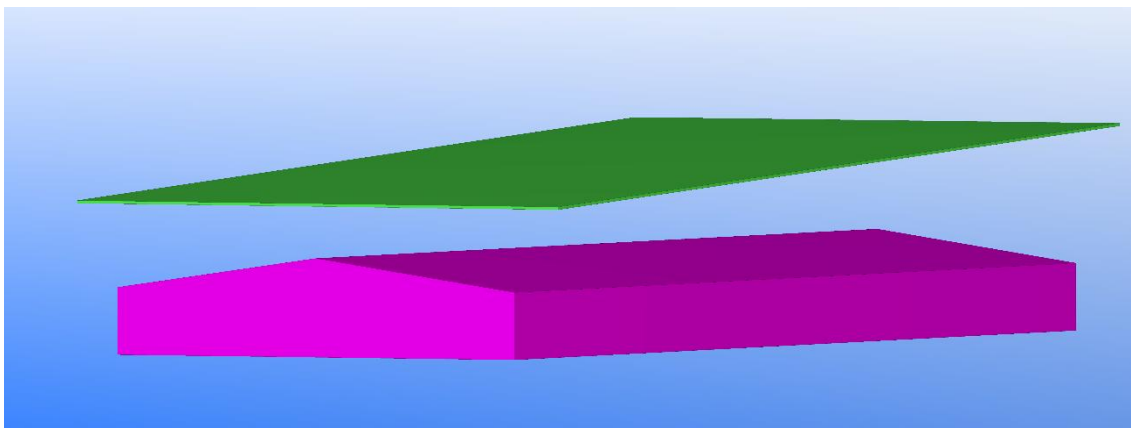
Lähtötieto-ohjeissa on määritelty käytettäväksi lähtötietojen osalta maastomallin mittatarkkuutena mittaaluokan 1 mukaisia toleransseja [4]. Tämä tarkoittaa sitä, että siltarakenteiden mittauksissa sallitaan korkeintaan 25 mm keskivirhe ja yksittäisten kohteiden kuten liikennemerkkien tai viivamaisten kohteiden taitepisteiden kohdalla sallitaan korkeintaan 50 mm keskivirhe [69, s. 15]. Koska tarkempaa ohjeistusta olemassa olevien rakenteiden mittatarkkuudelle tai mallille ylipäättään ei ollut, päätettiin tutkimuksessa käyttää edellä mainittuja mittatoleransseja mallinnettaville rakenteille.

#### Havaintoja geometrian mallintamisesta

Alkuperäisten suunnitelmien perusteella luodusta tietomallista saatiin sillan rakenteista varsin kattava ja havainnollinen kuva. Mallintamalla luotu kolmiulotteinen siltarakenne toimi suunnittelijan kannalta erittäin havainnollisena kokonaisuutena. Mallin kolmiulotteisuus pakottaa suunnittelijan miettimään myös suunniteltavat ratkaisut, erityisesti detaljitason, loppuun saakka. Nykyisen rakenteen muoto ja uusien korjausratkaisujen soveltaminen siihen voidaan todeta todella havainnollisesti. Detaljitason ratkaisuja voi olla vaikea huomioida perinteisen 2D-suunnittelun keinoilla.

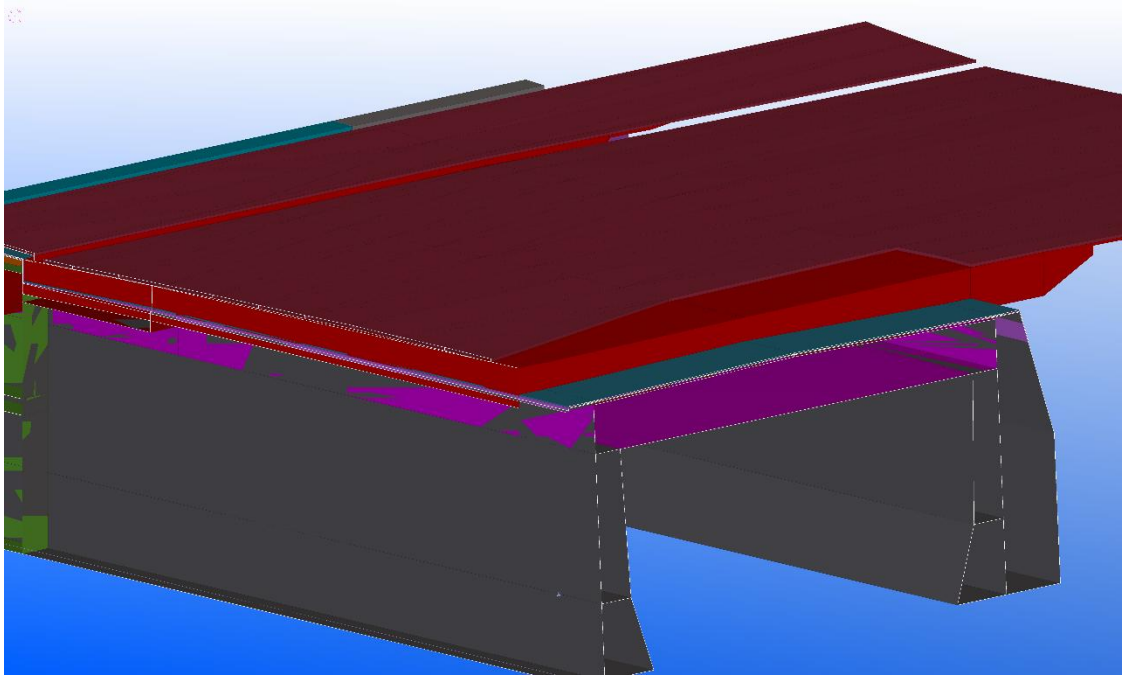
Rakenteen mallintaminen alkuperäisten suunnitelmien perusteella osoittautui hyväksi ratkaisuksi. Vaikka alkuperäisissäkin suunnitelmissa havaittiin ristiriitoja, saatiin suunnitelmien perusteella mallinnettua sillan geometriaa riittävällä tarkkuudella. Puutteena alkuperäisten suunnitelmien käyttäminen lähtötietona voidaan pitää mallin asemointia koordinaatistoon. Alkuperäisissä suunnitelmissa ei ollut ilmoitettu kuin silta-aukon keskikohdan koordinaatit reunapalkkien ulkoreunojen kohdilla. Koko sillan geometrian paikkansapitävyys koordinaatistossa tulisikin varmistaa siltapaikalla tehtävien mittausten perusteella useammista pisteistä, riittävän tarkkuustason varmistamiseksi.

Tietomalliohjeiden vaatima pintarakenteiden mallintaminen osoittautui haastavaksi tehtäväksi. Pintarakenteet ja vedeneriste tulee mallintaa kerroksittain ominaispaksuuden mukaisesti. Olemassa olevan siltapaikan tapauksessa tulee siis kartoittaa tien nykyinen geometria ja mallintaa pintarakenteen yläpinta nykyistä geometriaa vastaavasti. Tämän jälkeen rakennekerrokset vedeneristeen ja ylimmän päällystekerroksen väliin joudutaan mallintamaan käsityönä. Tilanne korostuu erityisesti jos pintarakenteen yläpinnan ja kannen yläpinnan muoto poikkeava toisistaan, eli pintarakenteen rakennekerroksia ei voida mallintaa tasapaksuina. Tilannetta on havainnollistettu alla olevassa kuvassa (Kuva 41), jossa sillan kannen profiilia (violetti) ja pintarakenteen yläpintaa (vihreä) on kuvattu yksinkertaistetusti.

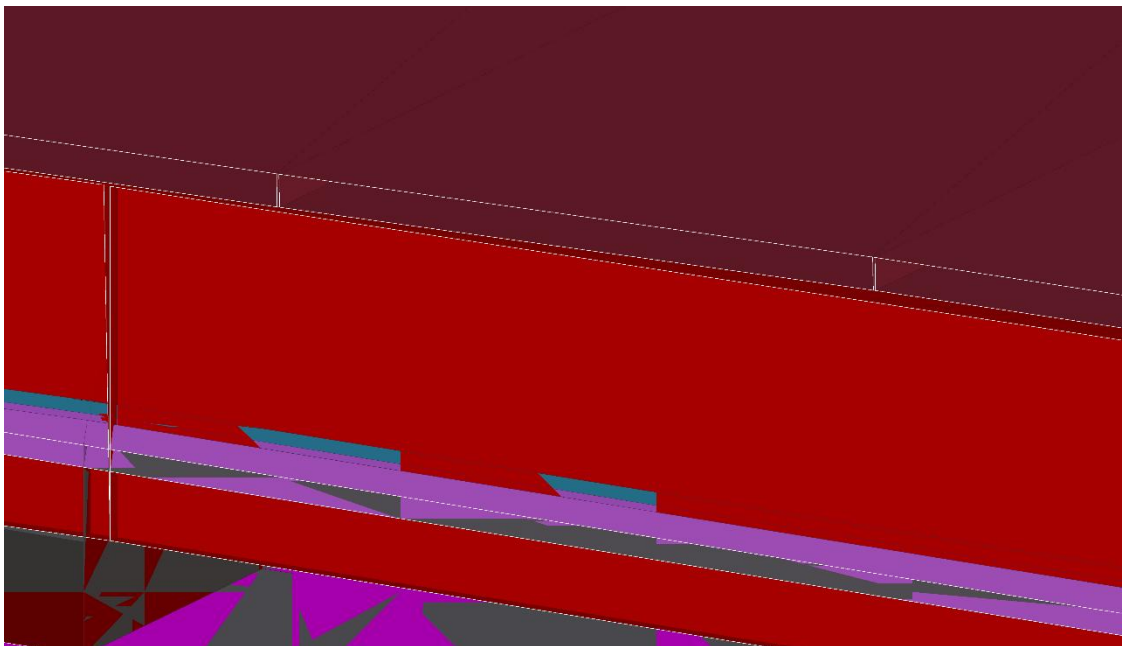


**Kuva 41:** Kannen ja pintarakenteen yläpinnan muotojen poikkeaminen toisistaan. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Tutkimuksessa käytetyn esimerkkisillan tapauksessa sillan kannen yläpinta oli harjakaiteva sillan pituussuunnassa ja tiellä sillan poikkisuuntainen kallistus, kuten alla olevasta kuvasta (Kuva 42) nähdään. Vedeneriste, joka näkyy kuvassa vihreänä, mallinnettiin sillan kannen muodon mukaisesti, tumman punainen asfaltin ylin kerros mallinnettiin nykyisen tien geometrian mukaisesti ja kerrosten väliin jäävä tila mallinnettiin täyttämällä alue likimääräisesti. Asfaltin yläpinnan ja kannen muodoista johtuen tilavuusobjektien väliin jää rakoja mallinnustekniikasta johtuen, kuten alla olevasta kuvasta (Kuva 43) nähdään. Tyhjät tilat objektien välissä eivät ole merkitykseltään suuria määrälaskentaa ajatellen. Asfaltilla toteutettavan välikerroksen sijainti on mallinnettu sitomalla objekti alaosastaan vedeneristeen suojakerroksen yläpintaan ja sovittamalla kerroksen yläpinta ylimmän asfalttikerroksen alapintaan. Näin saatiin likimääräinen kerroksen paksuus mallinnettua. Kuten edellä mainitusta kuvasta (Kuva 43) näkyy, kerrosten väliin jää tyhjää tilaa. Tyhjää tilaa objektien välissä on kuvassa korkeimmillaan noin 6 mm. Korjauskohteessa pintarakenteiden mallintaminen poikkeaa uudiskohteesta, koska uudiskohteessa väylän geometria määritetään suunnitelmissa ja sillan kannen geometria toistaa usein asfaltin geometriaa eli päällystekerrokset ovat tasapaksuja. Olemassa olevan rakenteen kohdalla tilanne voi olla hyvinkin vaihteleva, kuten case-kohteen tapauksessa havaittiin. Case-kohteen kaltaisia paksuja pintarakennekerroksia tavataan yleensä maataytteisillä silloilla, jolloin peruskorjauksen yhteydessä pintarakenteiden yläpinta pyritään palauttamaan nykyiseen korkoonsa. Toisessa tavanomaisemmassa tapauksessa pintarakenteet on toteutettu tasapaksuina. Tässä tapauksessa pintarakenteita uusittaessa pintarakenteet määritetään nykyisiä ohjeita vastaavasti ja tasataan tien tasauksessa mahdollisesti tapahtuva muutos sillan päissä tulopenkereen päällystekerroksilla. Tämä tapaus on mallinnusteknisesti case-kohteen tapausta helpommin toteutettavissa.



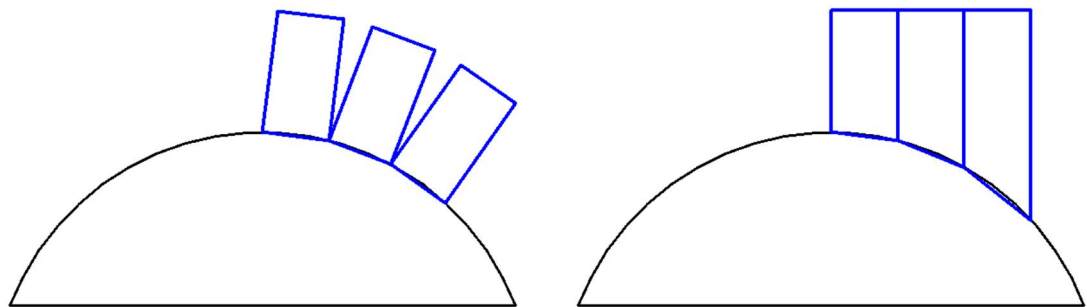
**Kuva 42:** Sillan pintarakenteet ja vedeneriste. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)



**Kuva 43:** Asfalttikerrosten väliin jääneitä tyhjiä tiloja. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Mallinnustekniikasta ja ohjelmiston toiminnasta johtuen myös tilavuusobjektien väliin voi jäädä tyhjiä tiloja tai objektit voivat mennä sisäkkäin. Tilanne tulee vastaan jos joudutaan mallintamaan rakenteita, joissa on taitteita tai kaarevia pintoja, kuten alla olevasta kuvasta nähdään (Kuva 44). Kuvassa vasemmalla on havainnollistettu tilannetta, joka syntyy kun pyritään mallintamaan tilavuusobjekteilla kaarevaa pintaa. Objektien väliin jää tyhjää tilaa, kuten case-kohteessa havaittiin. Ongelman poistamiseksi objektit tulisi sovittaa sivuiltaan toisiinsa leikkaamalla tai käyttämällä hyväksi ohjelmiston ominai-

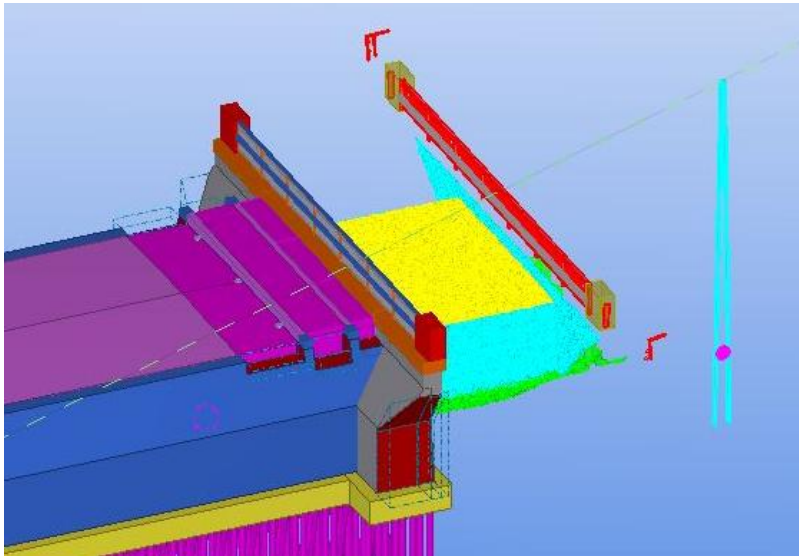
suutta, jossa yksittäistä nurkkapistettä voidaan siirtää haluttuun tasoon. Molemmat tapaukset vaativat manuaalisesti suoritettuna merkittävän ajallisen panostuksen, joten geometrian tehokkaan tuottamisen kannalta toimenpiteet tulee automatisoida. Ohjelmisto ei suoraan mahdollista monimuotoisen geometrian tuottamista, joten tehokas geometrian tuottaminen vaatii jatkotoimenpiteitä ja -kehitystä. Esimerkiksi kolmionmuotoista objekta kallistettaessa kuvan vasemmanpuoleisen tapauksen mukaisesti, voisi objektin pystysivut käyttäjän valinnan mukaan pitää joko pystysuorina tai kallistaa. Tämä mahdollistaisi käyttäjälle geometrian mallintamiseen lisää työkaluja ja poistaisi tarpeen yksittäisen nurkkapisteen säätämiseen numeerisella parametrilla, mikäli tavoitellaan kuvan oikeanpuoleista lopputilannetta.



**Kuva 44:** Kaarevan pinnan mallintaminen objekteilla.

#### **Laserkeilauksen käyttäminen geometrian lähtötietojen hankkimisessa**

Sillan näkyvistä pinnoista saatiin geometria ja sijaintitietoa tuotettua pistepilven avulla. Sillan geometrian asemointi pistepilven tuottamaan aineistoon onnistui hyvin käyttämällä mallinnusohjelmiston siirto- ja kiertotyökaluja. Samalla havaittiin alkuperäisten suunnitelmien mukaan mallinnetun rakenteen olevan 5 metriä liian kapea. Siltaa oli levennetty alkuperäiseen suunnitelmaan nähden, josta ei ollut mainintaa käytössä olleissa lähtötiedoissa. Tilanne paljastui hyvin havainnollisesti asemoitaessa sillan geometriaa keilattuun pintamalliin. Tilanne on esitetty alla olevassa kuvassa (Kuva 45), jossa siltapaikalta mitattu geometria on nähtävissä oikealla ja mallinnettu geometria vasemmalla. Alkuperäinen geometria osoittautui suhteellisen luotettavaksi, kun sitä verrattiin siltapaikalta mitattuun aineistoon. Sillan leveyden lisäksi vain reunapalkkien pituutta jouduttiin korjaamaan mitattujen tulosten mukaisiksi.

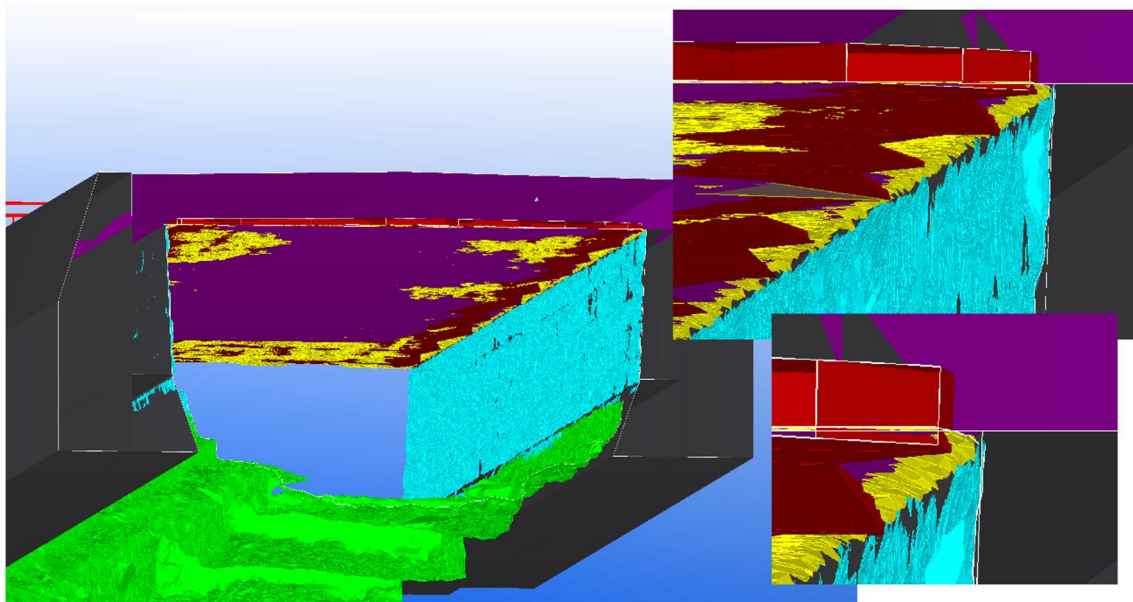


**Kuva 45:** Sillan alkuperäisten suunnitelmien mukainen geometria suhteessa siltapaikalta mitattuun geometriaan. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Kannen alapinnan muoto mallinnettiin alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti ja alapinnan geometriaa oli tarkoitus tarkentaa laserkeilauksen tuottaman pistepilviaineiston perusteella. Kannen alapintaa oli keilattu 20x20 mm ruudulla pistepilviaineiston tuottamiseksi. Kannen alapinnan muodon kuvaaminen tällä tarkkuudella ei osoittautunut järkeväksi. Tarkan pistepilviaineiston perusteella luotuja tilavuusobjekteja luotiin malliin 500000 kappaletta. Objektien suuri määrä johti mallin hidastumiseen ja mallista tuli käytännössä käyttökelvoton sen hitauden takia. Ongelma todennäköisesti korjautuu tulevaisuudessa tietokoneiden kapasiteetin kasvaessa. Tulee kuitenkin muistaa, että tietomallia voidaan käyttää suunnitelmien esitystapana vain jos kaikkien hankkeen osapuolten tietokoneet pystyvät käsittelemään tietomallin sisältöä. Harvennettaessa kolmiointia 1000x1000 mm ruutuun, saatiin kolmioiden määrä laskemaan riittävästi, jottei mallin hitaus estänyt työskentelyä. Tästä aiheutui kuitenkin epätarkkuutta pinnan muotoon, koska tarkasta aineistosta poimittavien mittapisteiden edustavuutta suhteessa tarkkaan aineistoon ei voitu kontrolloida. Tarkasta aineistosta poimittu mittapiste saattoi osua kannen vaurioituneeseen painaumaan tai kohoumaan, jolloin kolmion geometria vääristyi laajalta alueelta. Alkuperäisen suunnitelman mukainen tasainen kannen alapinta osoittautui keskimäärin parhaiten paikkansa pitäväksi, kuten alla olevasta kuvasta (Kuva 46) voidaan havaita. Kuvassa laserkeilattu tarkempi 50x50 mm pinta nähdään keltaisena kolmiointina, suuremmilla 1000x1000 mm kolmiolla kuvattu pinta punaisena ja suunnitelmien mukaan mallinnettu kannen alapinta violettina pintana. Violetti pinta ja tarkempi kolmiointi ovat likimain samassa tasossa, kun taas kolmioinnin harventamisen jälkeen luotuihin suurempiin kolmioihin nähden tarkkuustaso kärsii. Tarkkuustarkastelun jälkeen päädyttiin mallintamaan kannen alapinta alkuperäisten suunnitelmien mukaisesti ilman esikohotusta ja vaurioitumisen aiheuttamia pinnanmuotoja. Kannen alapinnan sijainti ei poikkea yli 25 mm mitatusta pinnasta, joten tarkkuuden voidaan katsoa olevan riittävä. Tyypillisesti peruskorjattavissa silloissa esikohotuksen tulisi olla jo tasaantunut, koska esikohotus suunnitellaan sillan omaa painoa vastaan ja se tasaantuu ajan kuluessa, eikä sitä tarvitse



huomioda mallinnettaessa kannen alapintaa. Toisaalta esikohotusta ei mallinneta uudiskohteenkaan tapauksessa, vaan se esitetään usein erillisessä tuotantoa ohjaavassa mittapiirustuksessa.

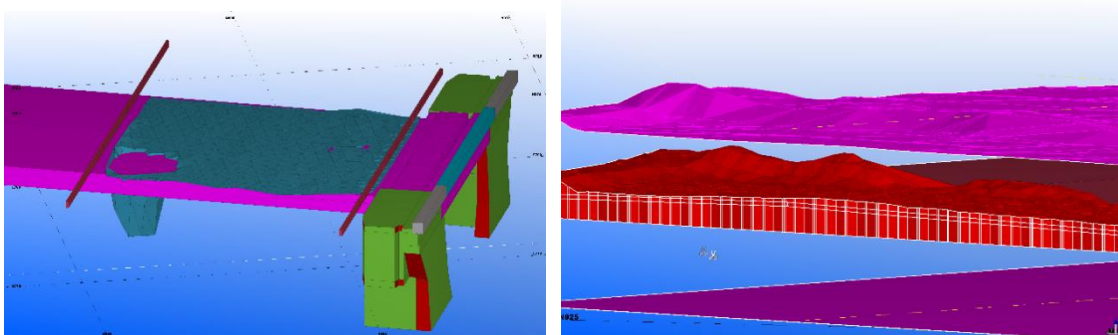


**Kuva 46:** Kannen alapinta alkuperäisten suunnitelmien mukaan (violetti), laserkeilatun pinnan mukainen kannen alapinta 1000x1000mm (punainen) ja 50x50mm (keltainen) kolmioilla. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

#### **Siltatutkauksen käyttäminen geometrian lähtötietojen hankkimisessa**

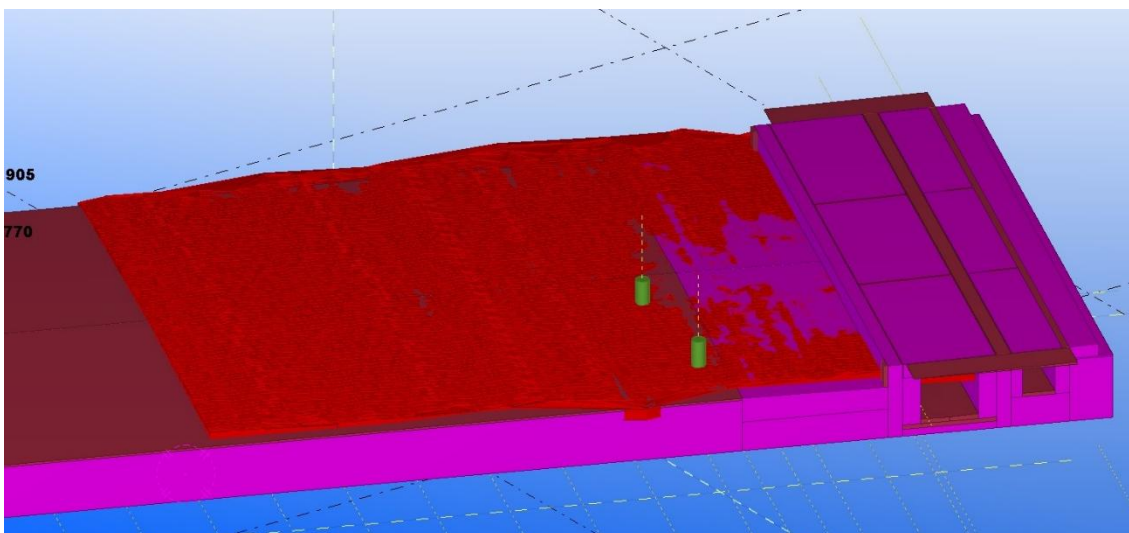
Siltatutkaamalla pystyttiin tuottamaan tietoa kannen potentiaalisten vaurioalueiden lisäksi yläpinnan sijainnista ja muodosta. Koska kannen yläpinnan sijainti ilmoitettiin syvyytenä mittalaitteen tasosta eli asfaltin pinnasta, syntyi kannen yläpinnan geometriaa kuvaavaan aineistoon TS-malliin tuotaessa voimakasta Z-akselin suuntaista vaihtelua. Osittain kannen yläpinnan tason voimakas vaihtelu voidaan selittää laserkeilatun asfaltin pinnan vaihtelulla, johon siltatutkattu aineisto sidottiin. Alla olevassa kuvassa (Kuva 47) nähdään kannen yläpinnan muotoa kuvaavan pinnan häiriöitä. Vasemman puoleisessa kuvassa nähdään kannen yläpintaa sillan eteläreunalla kuvaavan vihreän pinnan sukeltavan rajusti noin 5 m<sup>2</sup> alueella. Oikean puoleisessa kuvassa nähdään selvästi, kuinka kannen yläpintaa kuvaava punainen pinta toistaa ylempänä nähtävän asfaltin yläpinnan muodossa olevan virheen.





**Kuva 47:** Kannen yläpinnan sijainnin poikkeamia. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Mitatun aineiston pinta vaihteli myös asfaltin tasaisilla osuuksilla. Kun mittapisteiden keskinäinen etäisyytenä käytettiin 100 mm, saatiin TS-malliin alla olevan kuvan (Kuva 48) mukainen kannen yläpinnan geometria. 100 mm pisteväli oli selvästi liian tarkka mittauksen tulosten esittämiseen. Pisteväli kasvatettiin 1000 mm, jolloin aineistosta saatiin kannen yläpinnan keskimääräistä sijaintia paremmin kuvaavia objekteja. Kuvassa nähdään myös vihreät lieriöt, jotka kuvaavat pintarakenteen avauskohtaa. Avauskohdasta po-raamalla poistetuista pintarakenteista saatiin mitattua todelliset rakennekerrokset.



**Kuva 48:** Kannen yläpinnan geometria siltatutkauksen perusteella. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Alla olevassa taulukossa (Taulukko 7) on esitetty kannen yläpinnan sijainti suhteessa asfaltin pintaan erikoistarkastuksen yhteydessä tehtyjen pintarakenneavausten kohdilta, eri mittausmenetelmillä todennettuna. Taulukossa positiivinen poikkeaman arvo tarkoittaa, että kyseinen suure on erikoistarkastuksessa mitatun todellisen pinnan yläpuolella ja vastaavasti negatiivinen arvo alapuolella. Positiiviset arvot on värjätty taulukossa vihreällä ja negatiiviset vaaleanpunaisella. Sillan pohjoisreunalla avauskohtien A1 ja A2 kohdilla siltatutkattu ja alkuperäinen suunnitelma näyttävät pitävän suhteellisen hyvin paikkansa. Sillan eteläreunalla avauskohtien A3 ja A4 kohdilla poikkeamat ovat huomatta-

vasti suurempia. Tämä saattaa selittyä asfaltin pinnan poikkeamalla laserkeilatun ja todellisen pinnan välillä tai betonirakenteen geometriaan alkuperäisiin suunnitelmiin nähden rakennusvaiheessa syntyneillä poikkeamilla.

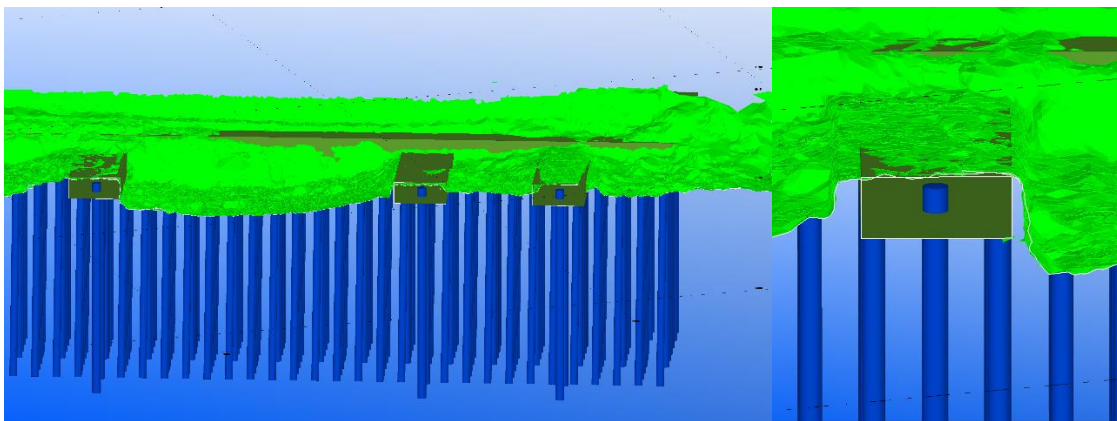
**Taulukko 7:** Sillan kannen yläpinnan sijainti suhteessa asfaltin pintaan eri menetelmillä todennettuna.

Pintarakenteen avauspiste	Todellinen pintarakenteen paksuus, mitattu avauksesta	Pintarakenne suunnitelmien mukaan		Pintarakenne siltatutkan mukaan	
			Poikkeama		Poikkeama
A1	345 mm	355 mm	-10 mm	338 mm	7 mm
A2	375 mm	387 mm	-12 mm	371 mm	4 mm
A3	328 mm	390 mm	-62 mm	342 mm	-14 mm
A4	390 mm	420 mm	-30 mm	323 mm	67 mm

Tutkattua pintaa ei pystytty luotettavasti pitämään kannen todellisena muotona, joten kannen yläpinta mallinnettiin alkuperäisten suunnitelmien ja aiemman laadittujen korjaussuunnitelmien geometrian perusteella. Alkuperäisiin suunnitelmiin nähden erikoistarkastuksessa todettu pintarakenteen paksuus osoittautui olevan riittävän tarkka, lukuun ottamatta sillan eteläreunan avauskohtia.

### Kaikuluotauksen käyttäminen geometrian lähtötietojen hankkimisessa

Uoman pohjan kaikuluodattua aineistoa käytettiin vedenalaisten rakenteiden kunnon selvittämisen lisäksi myös vedenalaisten rakenteiden asemoimiseen. Maatukien paaluunturit on yhdistetty toisiinsa poikkipalkeilla. Palkkien sijainti on esitetty alkuperäisissä suunnitelmissa, mutta sillan levittämisen vaikutuksia mittoihin niissä ei ole esitetty. Uoman pohjaa kuvaavasta pintamallista poikkipalkkien sijainti oli kuitenkin selkeästi tulkittavissa, kuten alla olevasta kuvasta (Kuva 49) nähdään. Uoman pohjassa oli nähtävissä selkeät kohoumat, joiden voidaan olettaa olevan poikkipalkkien kohdilla. Neljä ensimmäistä poikkipalkkia sijaitsivat tasajaolla auman pohjalla. Sillan levittämisen yhteydessä lisätty poikkipalkki saatiin asemoitua sillan pohjoisreunalle uoman pohjanmuotojen perusteella.



**Kuva 49:** Sillan paaluanturat on yhdistetty palkeilla, joiden sijainti on tarkastettu uoman pohjan kaikuluotaustulosten perusteella. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Case-kohteen perusteella kaikuluodatus pistepilven ja siitä tuotetun pintamallin voidaan katsoa kuvaavan uoman pohjaa ja vedenalaisia rakenteita suhteellisen tarkasti. Mittaustapaan liittyvää epätarkkuutta aiheuttavat muun muassa rakenteiden päälle kertynyt liete tai veden ominaisuudet. Tässä tapauksessa mittatulokset korreloivat alkuperäisten suunnitelmien perusteella mallinnettuun rakenteeseen.

#### 4.2.2 Rakenteen kuntotietojen mallintaminen

Erikoistarkastuksen kenttätöiden yhteydessä olemassa olevasta rakenteesta porattujen betonilieriöiden laboratoriotuloksien kirjaamiselle ei tietomallissa ollut valmista paikkaa. Tulokset jouduttiin kirjaamaan UDA-kenttään, joka ei ollut tarkoitettu näille tiedoille. Havaintona ja kehitystarpeena voidaan kirjata UDA-välilehden luominen sillan rakenteiden kuntotutkimustietoa varten. Välilehden tulisi sisältää omat kenttensä yleisimmille rakenteiden ominaisuuksille, joita tutkitaan erikoistarkastuksen yhteydessä. Tutkimustuloksia tulisi kirjata muun muassa seuraavista materiaalien ominaisuuksista betonin kloridipitoisuus, vetolujuus, pakkasrapautuneisuus, vedeneristeen kunto ja sen sisältämät haitta-aineet sekä terästen ruosteisuus. Lisäksi silmämääräisille havainnoille tulisi olla oma kenttensä. Näin esimerkiksi tieto vakavasta rapautumavauriosta saadaan kirjattua ylös mallin tietokantaan, vaikka vaurioalue muuten näkyisikään tietomallissa varsinaisena geometrisena muotona.

Vaurioituneiden alueiden geometrian mallintaminen ei onnistunut alkuperäisen ajatuksen mukaisesti. Geometrian tarkkuustasoa jouduttiin laskemaan ja vaurioituneet alueet kuvaamaan lopulta hyvin yksinkertaistetusti. Vaurioituneet alueet kuvattiin yksinkertaistetulla laatalla ja UDA-tietoihin syötettyjen tietojen avulla.

#### 4.2.3 Liittyvien tekniikkalajien lähtötietojen mallintaminen

Lähtötietojen mallintaminen ohjeiden mukaisesti muokkaamalla lähtötietoja lähtötietomallin käyttämään formaattiin ei osoittautunut järkeväksi. Alla olevassa taulukossa

(Taulukko 8) nähdään lähtötietojen tiedostoformaattit ja miten lähtötietoja käsiteltiin lähtötietomalliin saattamiseksi. Kuten taulukosta nähdään, läheskään kaikkia lähtötiedoista ei ole perusteltua muokata. Pdf-tiedostojen muokkaaminen malliin tuotavaksi lähtötiedoksi ei ole järkevää, koska tietosisältö on tulkittavissa suoraan tiedostosta ja se voidaan mallintaa manuaalisesti suoraan malliin. Tässä tapauksessa ei ole järkevää piirtää pdf-tiedoston sisältöä dwg-tiedostoon, jota voidaan käyttää tietomallissa referenssinä. Esimerkiksi sillan geometriaa kuvaavat tiedot ovat hyödynnettävissä suoraan pdf-tiedostossa esitetyissä mittatiedoissa mallinnettaessa rakennetta kuvaavia objekteja. Sen sijaan kevyet muokkaustoimet valmiiksi sähköisten järjestelmien tulkittavissa olevalle aineistolle on syytä toteuttaa. Tästä esimerkkinä voidaan mainita koordinaatistojen yhtenäistäminen eri lähtötietoina käytettävien kartta-aineistojen välillä, jotka toimivat suoraan referenssinä mallinnettaessa.

**Taulukko 8:** *Lähtötietojen formaattit ja niiden hyödyntäminen mallinnuksessa.*

Lähtötieto	Lähde formaatti	Tehdyt toimenpiteet
Kaukolämpöputken sijainti ja korkeusasema	.tiff	sijainti piirretty .dwg muotoon, korko tulkittu suoraan kuvasta
Johtotietokartta ja kantakartta	.dwg	Tiedostoa käytetty suoraan referenssinä
Vesijohdon sijainti ja korko	Puhelin- keskustelu	Sijainti johtotietokartassa. Korkotieto saatavilla suullisesti jonka perusteella malliin
Laserkeilattu aineisto		
- pistepilvi	.pts	muunnettu .xml muotoon joiden perusteella solid objekteja malliin
- kolmipinnat pistepilvestä	.dwg	Tiedostoja käytetty suoraan referenssinä
Siltatutkattu aineisto		
- siltatutkauksen tulokset kannen yläinnasta	.txt	muunnettu .xml muotoon joiden perusteella solid objekteja malliin
Erikoistarkastuksen laboratorio analyysit	.pdf	Tulokset tulkittu ja mallinnettu suoraan tiedostosta
Sillan alkuperäiset suunnitelmat	.pdf	Mallinnettu suoraan tiedostosta tulkittujen mittatietojen perusteella

Koska osa lähtötiedoista oli ajallisesti vanhaa ja osa puutteellista, pohdittiin kuinka lähtötietojen luotettavuutta voidaan kuvata tietomallissa. Selkein tapa olisi käyttää epäluotettavalle tiedolle luotettavasta tiedosta eroavaa väriä. Tämän vaatisi kuitenkin epäluotettavan objektin sijoittamista eri classille, koska class-numero määrää objektin värisävyä. Tämä aiheuttaa turhaa sekaannusta objekteja suodatettaessa, koska suurin osa

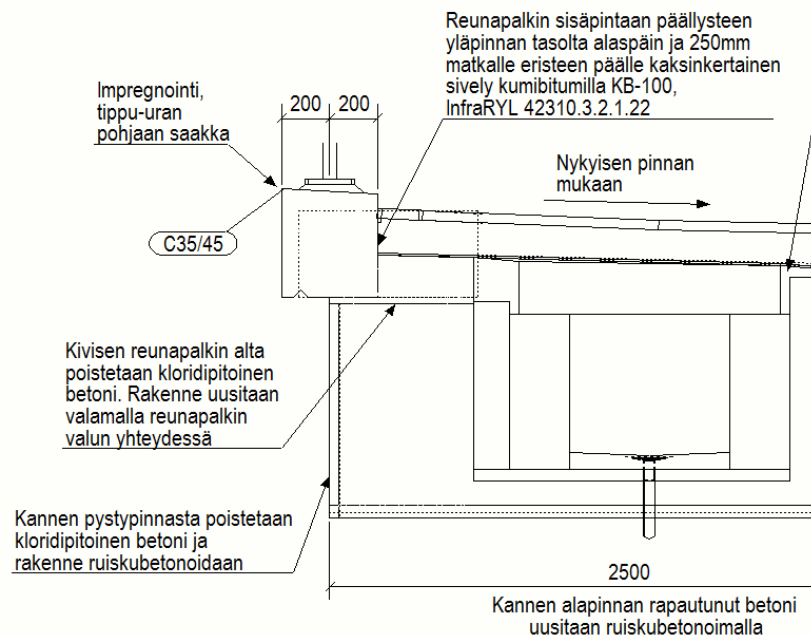
suodattamisesta tapahtuu objektien numeroinnin perusteella. Tutkimuksen tekijän mielestä parempi tapa on lisätä objektin name-kenttään tieto luotettavuudesta. Objektia kuvaavan nimen eteen voidaan liittää esimerkiksi maininta E\_, joka kuvaa epäluotettavaa tietoa. Alaviivan jälkeen käytetään objektia kuvaavaa normaalia nimikettä. Näin ollen numeroinnin perusteella tapahtuva rakenteiden ja objektien suodattaminen ei häiriinny, mutta halutessaan käyttäjä saa suodatettua epäluotettavan tiedon näkyviin. Tämä toiminto voidaan suorittaa esimerkiksi suodattamalla näkyviin kaikki halutut objektit niiden numeroinnin perusteella ja lisäksi jättämällä pois kaikki ne lähtötiedot, joiden name-kentässä on merkintä E\_. Toinen tapa epäluotettavan lähtötiedon merkitsemiseksi on käyttää prefix-etuliitettä. Prefix-etuliitettä ei normaalisti paikallavaletuilla betonirakenteilla käytetä.

#### 4.2.4 Suunnitelmapiiirustusten tuottaminen

Suunnitelmapiiirustusten tuottaminen osoittautui haastavaksi. Piiirustuksiin ei pystytty poimimaan kaikkea tietoa malliin syötetyistä attribuuttitiedoista, vaan piiirustuksiin jouduttiin lisäämään tekstiä tietomalliin syötetyn tiedon ulkopuolelta. Erityisesti korjaussuunnittelussa painottuva detaljitason yksityiskohtien esittäminen osoittautui haastavaksi. Mikäli suunnitelmapiiirustuksissa halutaan esittää detaljit mallipohjaisesti näkymien avulla, detaljit on mallinnettava myös tietomalliin. Tämä tarkoittaa mallin viemistä detaljitasolle. Detaljitason mallintaminen asettaa mallintajalle haasteen, kuinka detaljit tietomallissa esitetään. Toisaalta detaljitason tietomallista nähdään korjaussuunnitelman toimivuus detalji tasolla, joka on suunnitelman toimivuutta arvioitaessa erittäin arvokasta tietoa.

Alla olevassa kuvassa (Kuva 50) nähdään havainnekuva tuotetuista suunnitelmapiiirustuksista. Kuvan tapauksessa betonin materiaaliominaisuudet on lisätty suoraan tietomalliin mallinnetuista reunapalkin ominaisuuksista. Selventäviä tekstejä on jouduttu lisäämään käsityönä suunnitelmapiiirustukseen, eivätkä lisätyt tekstit linkity malliin. Tämä mahdollistaa ristiriitojen syntymisen malliin tai piiirustuksiin muutoksia tehtäessä.

## B - B 1:20 - Reunadetalji



**Kuva 50:** Ote tietomallista tuotetusta suunnitelmapiirustuksesta. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

Suunnitelmapiirustusten tuottaminen verrattuna perinteisiin CAD-piirustusohjelmiin, tekstien lisääminen ja näkymien tuottaminen kuvista on vaikeampaa. Suunnitelmapiirustuksien esitystapaa rajoittaa ohjelmiston kyky suodattaa ja jaotella objekteja eri tasoille. Käytännössä käytössä on kaksi eri tasoa, joille objekteja voidaan suodattaa ja säätää niiden esitystapaa suunnitelmapiirustuksessa. Manuaalisesti muokkaamalla objekti-kohtaisesti saadaan muokattua esitettävää viivaa, mutta tämä ei palvele tietomallintamisen parametri- ja automaatiopohjaista ajattelua. Viivatyylien rajoittuneisuudesta johtuen myös purettavien rakenteiden purkurajoja ei saatu esitettyä riittävän havainnollisesti. Tietomallin kolmiulotteisuus näkyy myös suunnitelmapiirustusten leikkauksissa ja näkymissä osittain häiritsevä tekijänä. Esimerkkinä tästä mainittakoon kaltevat pinnat ja tien geometrian esittäminen. Tien geometriaa on kuvattu kolmion muotoisilla objekteilla, jotka myötäilevät asfaltin yläpinnan tasoa. Asfaltin pinnan ollessa kalteva tai epätasainen syntyy kolmioiden väliin rakoja, jotka näkyvät suunnitelmapiirustuksissa ylimääräisinä viivoina.

### 4.3 Tietomallin sisällön arviointi

#### 4.3.1 Tietomallin sisältö

Tutkimuksen yhteydessä laadittu tietomalli kuvastaa kattavasti sillan peruskorjauksen yhteydessä tehtäviä korjaustoimenpiteitä. Erityisen havainnollista tietomallin jatkokäyttäjän kannalta oli erotella purettavat rakenneosat ja yksittäisen korjaustoimenpiteen sisältämät

rakenneosat omille phase-tasoiheen. Mallissa näkyvien rakenteiden suodattaminen näkyviin tai piiloon käyttämällä korjaustoimenpide- tai rakenneosakohtaisia rajoituksia mahdollistaa erittäin havainnollisten näkymien luomisen. Näkymien avulla saadaan havainnollistettua tehtävät korjaustoimenpiteet tehokkaasti.

Näkymien rajoituksessa ja suodattamisessa on havaittavissa myös mahdollinen ongelmakohta. Mikäli tietomallin rakennetta ja sisältöä ei ole kuvattu riittävän tarkasti tietomalliselostuksessa, saattaa käyttäjä suodattaa tiedostamattaan pois näkyvistä olennaista tietoa, joka liittyy kyseessä olevaan korjaustoimenpiteeseen tai näkyviin haluttuun rakenneosaan. Tämä seikka voi korostua erityisesti detaljien nostamisessa esiin tietomallista. Silloin täytyy ymmärtää haluttuun detaljiin liittyvien rakenneosien merkitys ja detaljin vaikutusalue, jotta tarvittavat asiat saadaan näkyviin.

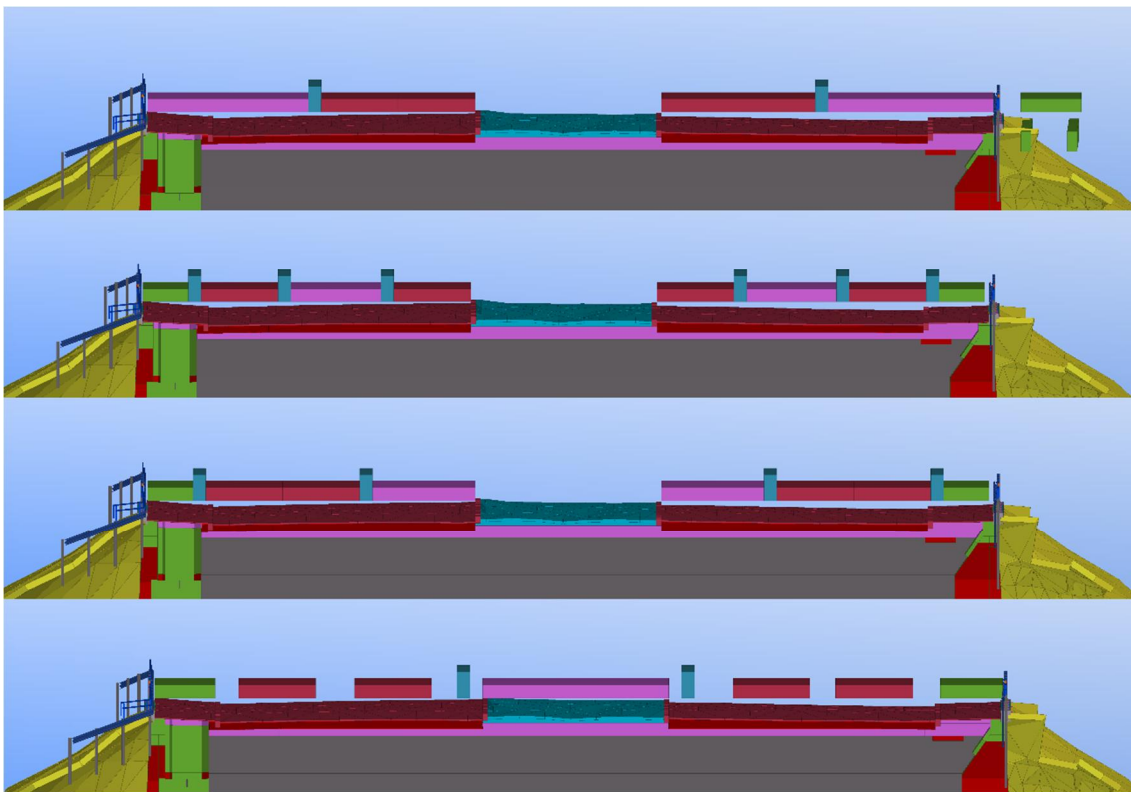
Korjaussuunnitelmamallin tarkkuutta voidaan pitää riittävänä, jotta korjaussuunnitelma voidaan välittää riittävällä tarkkuudella työmaalle. Korjaussuunnitelmamallin pohjana käytetyssä lähtötietomallissa esimerkiksi kannen alapinnan geometria oli yksinkertaistettu jättämällä kannen esikohotus huomioimatta. Koska kannen alapintaan kohdistuu pelkästään laastipaikkaamalla ja ruiskubetonoimalla tehtäviä korjaustoimenpiteitä, ei yksinkertaistus aiheuta merkittäviä poikkeamia määrätietoihin tai korjaustoimenpiteen havainnollisuuteen.

Tietomallia organisoitaessa rakenneosille päätettiin käyttää class-tasojen numerotunnuksina sillantarkastuskäsikirjan mukaista numerointia. Koska rakenneosille oli jo käsikirjassa valmiiksi määrätty numerot, ei niitä tietomallissa muutettu. Yksittäisten rakenneosien havaitseminen kokonaisuudesta kärsi, koska yksittäisen rakenneosan värisävy määräytyy käytettävän class-numeron perusteella. Värisävyä voidaan muokata myös manuaalisesti osakohtaisesti. Ennalta määrätty numerointiperusteet eivät aina tuota havainnollisinta mahdollista mallia. Mallin tulkinnan helpottamiseksi esimerkiksi yksittäisen korjaustoimenpiteen sisältämät objektit voidaan värjätä samalla värillä. Pelkkiin värisävyihin perustuvaa esitystapa ei ole käytännössä järkevää toteuttaa, koska ennalta sovittua numerointia joudutaan käyttämään, mikäli halutaan luoda malliin valmiita filtereitä ja piirustus pohjia. Värisävyihin perustuvat määritykset eivät toimi, jos tietomallin käyttäjä on värisokea tai natiivimallista tehdään IFC-tiedosto, jolloin rakenneosine värimääritykset muuttuvat. Kun suunnitelma esitetään pelkän tietomallin avulla, tietomallin havainnollisuuden kannalta, voi olla kuitenkin järkevää käyttää erillisiä värimäärityksiä valmiille tietomallille.

Tietomalliin mallinnetut liikennejärjestelyjen tilavaraukset kuvaavat havainnollisesti alueita, joilla eri vaiheessa urakkaa voidaan työskennellä, kuten alla olevasta kuvasta (Kuva 51) nähdään. Kuvassa punaisella objektilla on havainnollistettu liikenteelle varattua aluetta, sinisellä liikennejärjestelyä, violetilla työskentelyaluetta ja vihreällä kevyen liikenteen käyttöön varattavaa aluetta. Liikennejärjestelyjen tilavarausten kuvaaminen aikaan sidottuna toimintona ei onnistunut riittävän havainnollisesti, koska toiminto ei suodattanut piiloon tarpeettomia liikennejärjestelyjä. Tämän johdosta päätettiin käyttämään phase-numerointiin perustuvaa jaottelua, jonka avulla käyttäjä itse suorittaa objektien näkyviin suodattamisen. Tietomalliin voidaan luoda valmiit suodattimet, jolloin käyttäjä saa



suunnittelijan haluaman liikennejärjestelyjen tilavarauksen vaiheittain havainnollisesti näkyviin. Tarkemmat, varsinaiset liikennejärjestelyt voidaan mallintaa samaa periaatetta käyttäen.



**Kuva 51:** Liikennejärjestelyjen tilavaraukset, neljä eri vaihetta sillan kannella. (Kuva: A-Insinöörit Suunnittelu Oy)

#### 4.3.2 Suunnitelmapiiirustusten sisältö

Perinteisen suunnitelman sisältö, johon tietomallipohjaista suunnitelmaa verrataan, on kartoitettu kokempohjaisesti ja perustuu insinööritoimiston sisäiseen suunnitelmien tarkastustoimintaan. Näin saatiin määriteltyä korjaussuunnitelman sisältämät asiakokonaisuudet. Tutkimuksessa arvioitiin tietosisältöä suunnitelmien välillä ja pyrittiin saamaan käsitys vastaavatko suunnitelmien sisällöt toisiaan. Tutkimuksen liitteenä esitetyssä vertailutaulukossa (Liite 3) on listattu suunnitelmissa esitettävät asiat, kuinka asia on esitetty tietomallipohjaisessa suunnitelmapiiirustuksessa ja se saadaanko kyseinen tieto välitty-mään ilman suunnitelmapiiirustusta, pelkän tietomallin avulla. Kuten liitteestä nähdään, tietomallipohjaisesti tuotettu suunnitelmapiiirustus onnistui vastaamaan perinteiseltä suunnittelutavalta edellytettäviin vaatimuksiin. Puutteina voidaan mainita siltapaikka kartan puuttuminen. Siltapaikkaa kuvaavaa karttaleikettä, joka perinteisesti on esitetty, ei saatu lisättyä suunnitelmapiiirustukseen. Kartta ei ole olennainen osa suunnitelman tietosisältöä, joten sen puuttuminen ei ole ratkaiseva tekijä suunnitelman tietosisällön kanalta. Merkillepantavaa on suunnitelmapiiirustusten tuottamiseen tarvittavien erillisten



tekstiviittausten määrä. Tekstiviittaukset ja suunnitelmiin tarvittavat manuaaliset lisäykset johtavat juurensa vaatimuksista tuottaa perinteinen suunnitelmapiirustus myös tietomallilla toteutetusta suunnitelmasta.

Liitteen taulukossa arvioitiin myös mahdollisuutta jättää suunnitelmapiirustus kokonaan toteuttamatta ja välittää suunnitelman sisältämä tieto pelkän tietomallin avulla. Tietomallin avulla toteutettava esitystapa suunnitelmasta pystyy vastaamaan suurimpaan osaan suunnitelman sisällön vaatimuksista. Tiedonvälittämiseksi joudutaan turvautumaan myös UDA-kenttiin. UDA-kenttiä ja -välilehtiä täytyy luoda lisää kaiken tiedon esittämiseksi. UDA-tiedoilla tapahtuvaan tiedon välittämiseen liittyy myös riski siitä, löytääkö suunnitelman jatkokäyttäjä hänelle suunnatun tiedon. Tämän johdosta mallin tietosisällön kirjaaminen huolellisesti tietomalliselostukseen korostuu.

### 4.3.3 Suunnitteluprosessi

Tutkimuksen aikana perehdyttiin tietomalliohjeiden kautta välittyvään kuvaan tietomallipohjaisen sillankorjaussuunnitelman toteuttamisen etenemiseen. Tutkimuksen aikana käytännön tasolla toteutetun suunnitteluprosessin aikana havaittiin työmäärän keskittävän lähtötietojen hankkimiseen ja käsittelyyn. Lähtötietomallin kokoaminen vei koko suunnitteluketjussa merkittävän suuren osan käytetystä ajasta. Kolmiulotteisen tietomallin tuottamista erikoistarkastusvaiheessa kannattaa harkita jatkossa. Erityisesti jos erikoistarkastuksen ja sillan korjaussuunnitelman laatijat ovat eri henkilöitä tai eri organisaation edustajia. Tällöin erikoistarkastusvaiheessa toteutetun mallin käyttäminen suunnittelun lähtötietona voi olla haasteellista, kun mallia ei ole laadittu itse eikä sen sisältöä tunneta täydellisesti.

Suunnitteluprosessin kuluessa käytetyistä tiedonhankinta menetelmistä on laadittu arvio alla olevaan taulukkoon (Taulukko 9). Arvio kuvaa soveltuivatko tiedonhankintamenetelmät kyseisen esimerkkikohteen tarpeisiin. Soveltuvuutta on arvioitu asteikolla 0–5, jossa 0 = ei sovellu kohteen tarpeisiin ja 5 = soveltui täydellisesti kohteen tarpeisiin. Lisäksi soveltuvuutta kohteen tarpeisiin on kommentoitu.

**Taulukko 9:** Käytettyjen tiedonhankintamenetelmien toimivuus.

Tiedonhankintamenetelmä	Soveltuvuus	Kommentit
Rakenteiden ja liittyvien rakenteiden tiedot		
- suunnitelmapiirustukset	4	Suunnitelmat kuvasivat todellista rakennetta, vaativat manuaalista mallinnustyötä
- johto- ja kaapelitiedot	3	Mallinnus ja tietojen tulkinta osin käsityönä, lähtötiedot useassa eri formaatissa
- rakenteen kuntotiedot	4	Mallinnus ja tietojen tulkinta käsityönä, luotettavaa tietoa
Sillan ja siltapaikan laserkeilaus	3	Osittain vääristynyttä tietoa, viereisen sillan rakennustyö häiriötekijä aineiston kannalta, aineisto jopa liian kattava hankkeen tarpeisiin
Vedenalaisten rakenteiden kaikuluotaus	4	Riittävän tarkka kuvaus uoman pohjasta, poikkipalkkien sijainti tulkittavissa aineistosta
Siltatutkaus	3	Aineistossa toistui asfaltin pinnan virhettä. Aineiston tarkkuutta säädettävä, kuvaa pinnan muotoa liian kuoppaisena. Keskiarvon hakeminen pintaa kuvaavaksi

#### 4.4 Tietomallintamista koskevan ohjeistuksen arviointi

Tutkimuksen käytännön projektityön aikana koottiin havaintoja ja kehitysideoita siltojen tietomallintamista käsittelevästä ohjeistuksesta korjaussuunnittelun näkökulmasta. Yleisenä huomiona voidaan todeta, että ohjeistuksen jakautuminen kolmeen eri ohjeeseen vaatii tiedon löytämiseksi käyttäjän kannalta ylimääräistä työtä ja ennen kaikkea tarkkaavaisuutta. Useaan eri ohjeeseen jakaantuneesta ohjeistuksesta on haastavampaa muodostaa kokonaiskuvaa siitä, mitä tietomallilta sen muodostamisen aikana eri vaiheissa suunnitteluprosessia vaaditaan.

##### 4.4.1 Inframallin vaatimukset ja ohjeet, Lähtötiedot

Tutkimuksen tekohetkellä vielä luonnostasolla olevaa Inframallin vaatimukset ja ohjeet, Lähtötiedot [59] julkaisua käytettiin lähtötietojen tallentamiseen ja muokkaamiseen. Lähtötietojen tallentaminen ja käytettävien lähtötietojen kuvaaminen vaatii ohjeen mukaisesti laadittuna suuren määrän työtä ja tallennuskapasiteettia. Ohjeen taustalla oleva ajatus tiedon tallentamisesta ”raaka-aine”-kansioon, josta se muokkausten jälkeen tallennetaan varsinaiseen lähtötietomalli-kansioon aiheuttaa kahden päällekkäisen tiedostorakenteen ylläpitämistä projektin aikana, joka lisää tallennuskapasiteetin tarvetta. Projektin päätteeksi raaka-aine kansion toki voidaan poistaa kun tarvittavat tiedot on saatu koottua lähtötietomalliksi. Tällöin alkuperäiset ja muokkaamattomat lähtötiedot menetetään, ellei niitäkin liitetä muokattujen tietojen mukaan.

Tiedostojen nimeäminen ja kansiorakenne, johon tiedostot tulee tallentaa, on kuvattu ohjeessa. Kansiorakennetta ja tiedostojen nimeämistä on pyritty ohjeen avulla yhtenäistämään ja vakioimaan, jotta tieto on tietomallien hyödynnettävissä vakioidussa muodossa. Käytännössä havaittiin tiedostopolun muodostuvan liian pitkäksi, jotta Tekla Structures olisi pystynyt hyödyntämään lähtötietoaineistoa. Itse mallikin jouduttiin siirtämään lyhyemmän tiedostopolun taakse, jotta ohjelmisto toimi asianmukaisesti. Osittain ongelma johtuu insinööritoimiston projektien tallennukseen käytettävästä verkkolevyn tiedostopolusta, joka muodostaa jo itsessään kolme tasoa, ennen kuin varsinainen lähtötietomallin juuri saavutetaan.

Ohjeen mukaan käytettävästä lähtötiedosta tulisi pitää yllä lähtöaineistoluetteloa, toimenpideselostusta ja laatia lopputuotteesta eli lähtötietomallista tietomalliselostus. Tämä aiheuttaa käytännössä saman tiedon kirjaamista ja tallentamista useaan eri dokumenttiin. Lähdeaineistoluetteloon kirjataan saapuvan raaka-ainedatan tiedot, toimenpideselostukseen tehdyt muokkaustoimenpiteet ja lopuksi kaikki kuvataan uudelleen lähtöaineiston tietomalliselostuksessa. Lähtöaineistoluettelo ja toimenpideselostus tulisi yhdistää. Yhdistetyn muistilistana toimivan lähtöaineistoa käsittelevän dokumentin avulla tehdään kirjaukset lähtötietomalliselostukseen.

#### **4.4.2 Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje**

Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje julkaistiin tutkimuksen aikana. Tutkimuksen aikana käytössä oli julkaisun luonnos, johon tehty muutokset ja päivitykset otettiin huomioon tutkimuksen loppuvaiheessa.

Julkaisussa kuvataan sillansuunnittelun vaiheet, mukaan lukien olemassa oleviin siltoihin ja taitorakenteisiin kohdistuvat toimenpiteet. Luonnosvaiheen julkaisussa ei ollut tunnistettu sillan tai taitorakenteen kahta erilaista polkua. Riippuen siitä mitä polkua silta kulkee käyttöikänsä aikana, se joutuu vaurioitumisen takia peruskorjauksen tai toiminnallisten puutteiden poistamisen alaiseksi. Olemassa olevaan siltaan kohdistuu toimenpiteitä joko sen vaurioitumisen tai toiminnallisten puutteiden takia, kuten tässä tutkimuksessa on jo aiemmin kuvattu (Kuva 27). Luonnoksen jälkeen julkaistussa varsinaisessa ohjeessa tätä on pyritty kuvaamaan lisäämällä selventävä kappale aihetta käsittelevän luvun alkuun. Väylähankkeiden yhteydessä tehtävät toiminnallisten puutteiden poistaminen kuitenkin korostuu ohjeessa. Ohjeessa tulisi esittää selkeämmin sillan tai taitorakenteen kaksi erilaista polkua, joita silta kulkee ennen joutumista toimenpiteiden kohteeksi, kuten aiemmin tutkimuksessa on esitetty (Kuva 27). Rakenteen vaurioitumisen johdosta tehtäviä korjauksia tehdään lukumäärällisesti yleisemmin kuin toiminnallisten puutteiden poistamista.

Ohjeessa on kuvattu suunnittelun lähtötietona käytettävän maastomallin tarkkuustasoa. Korjaussuunnittelun yhteydessä tulee käyttää tarkkuustasoltaan tarkkaa maastomallia, jonka tarkkuustaso on tulkittavissa ohjeen viittaamasta lähteestä, Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje [69]. Lähteessä on annettu vaatimukset maastomallin tie-

tosisällölle ja laatuvaatimuksille, joita ei ole kuitenkaan ilmoitettu varsinaisessa lähtötieto-ohjeessa. Varsinaisen mittauksen toteuttamisen tarkkuuden osalta on viitattu samaan lähteeseen. Mittatarkkuuden ja tuotettavan maastomallin tarkkuuden määrittely on olennaista tietoa lähtötietomallia koostettaessa, jonka esittäminen lähtötieto-ohjeessa tulee harkita.

#### **4.4.3 Siltojen tietomalliohje ja taitorakenteiden tietomallinnusohje**

Sekä Liikenneviraston [3] että Helsingin kaupungin rakennusviraston [6] tietomalliohjeen keskeinen sisältö on toisiaan vastaava. Helsingin kaupungin rakennusviraston ohjeessa [6] on esitetty tilaajakohtaisia tarkennuksia tietomallin laatimiseen ja lähtötietojen hankkimiseen. Molemmat ohjeet viittaavat mallinnukseen käytettävien lähtötietojen osalta aiemmissa luvuissa viitattuihin lähtötieto-ohjeisiin [4][59].

Molemmat tietomalliohjeet edellyttävät vedeneristeen ja pintarakenteiden mallintamista rakennekerroksia kuvaavina tilavuusobjekteina. Tämä osoittautuu haastavaksi erityisesti silloin kun kyseessä on olemassa oleva siltapaikka muuttuvan paksuisilla pintarakenteilla, kuten aiemmin (Luku 4.2) on todettu. Pyrkimys kuvata rakennekerrokset tarkasti tilanvarausta ja määrätietoja varten on ymmärrettävää, mutta teknisesti kerrosten mallintaminen on erityisen haastavaa ja vaatii mallinnettaessa aikaa.

#### **Siltojen tietomalliohje**

Ohjeessa kuvatus ylläpitomallin vaatimuksiin vastaamista ei tämän tutkimuksen yhteydessä tutkittu. Ylläpitomallin vaatimukset koskevat natiivimallista tuotettavaa siirtotiedostoa, joka tuotetaan IFC-tiedostomuodossa.

Olemassa olevien siltojen osalta ohje antaa vapauksia pohtia tapauskohtaisesti, miten olemassa olevat rakenteet esitetään ja millä tarkkuudella. Tämä on erittäin tärkeää harkittaessa onko projektin kannalta järkevää toteuttaa korjaussuunnittelua mallintamalla ja kuinka laajasti mallintaminen toteutetaan. Kuten ohjeessakin todetaan, voi olla järkevintä jättää kohde mallintamatta, jos epävarmaa tai puutteellista tietoa rakenteista on liikaa. Ohjeessa ei kuitenkaan anneta mittatarkkuudelle selkeitä vaatimuksia kun kyseessä on mallinnettava olemassa oleva rakenne. Mallinnustarkkuus rakenteiden sijainnille ja mittatarkkuudelle tulee sopia rakenneosittain. Tarkkuustasoa määritettäessä tulisi ottaa huomioon muun muassa rakenneosaan kohdistuvat korjaustoimenpiteet.

Tietomalliohjeessa on esitetty vaatimuksia korjaussuunnitelmamallin sisällölle. Ohjeessa edellytetään muun muassa ankkuroitavien tartuntaterästen porareikien mallintamista. Jotta tähän vaatimukseen voidaan vastata mallinnusteknisesti järkevästi, on kehitettävä uusia mallinnustyökaluja. Tartunnan reikä voidaan mallintaa tartuntateräksen ympärille yksittäinen teräs kerrallaan, mutta tämä ei ole tehokas tapa mallintaa. Yksittäinen leikkaus ei aina kopioitu oikein, eikä sen sijainti muutu raudoituksen parametreja säädetäessä. Tarvitaan työkalu, jolla tartuntateräs mallinnetaan ja samalla teräksen ympärille luodaan parametreilla säädettävä porareikä, jonka sijainti muuttuu teräsjakoa muutta-

essa. Ohje edellyttää myös suunniteltujen piikkausrajojen mallintamista. Ohjeen vaatimuksen tarkoitusperää olisi syytä selventää, jotta ohjeen vaatimus tulee toteutettua yksiselitteisesti ohjeen edellyttämällä tavalla. Piikkausrajojen mallintaminen ratkaistiin casekohteen yhteydessä mallintamalla uuden ja vanhan betonin rajapintaan erillinen objekti, joka nimettiin piikkausrajaksi.

### **Taitorakenteiden tietomallinnusohje**

Helsingin kaupungin rakennusviraston Taitorakenteiden tietomallinnusohjeissa ei ole otettu kantaa korjaussuunnitteluun. Ohjeessa käsitellään pelkästään uudiskohteen vaatimuksia. Korjaussuunnittelun huomioiminen ohjeessa, Liikenneviraston siltojen tietomalliohjeeseen tapaan, olisi perusteltua.

Tietomallinnusohjeessa on otettu kantaa rakennussuunnitelmavaiheessa tehtävän tietomallin tarkkuustasoon, jota ei siltojen tietomalliohjeessa ole mainittu. Tarkkuuden tulisi olla hankkeen tässä vaiheessa mallin sijainnin osalta  $< 5$  cm ja mallin avulla tuotettavan määrätiedon virheen  $< 5$  %. Vastaavan kaltaisten konkreettisten raja-arvojen esittämistä myös siltasuunnitelmavaiheessa toteutettavaa mallia vastaavalle korjaussuunnitelmamallille tulee harkita. Konkreettiset raja-arvot kuvaavat korjaussuunnitelmamallin vaatimuksia paremmin sen sijaan, että todetaan pelkästään ”mallin tulee olla tarkka”. Määritettävät raja-arvot on syytä sitoa kohteelle tehtäviin korjaustoimenpiteisiin. Tämä antaisi mahdollisuuden mallintaa yksinkertaisemmin sellaiset olemassa olevat rakenneosat, joihin ei kohdistu korjaustoimenpiteitä tai korjaustoimenpiteet eivät edellytä mittatarkkaa mallia. Tarkkuustasosta ja mallinnettavista rakenneosista tulisi sopia hankekohtaisesti, kuten Liikenneviraston tietomalliohjeessa on kuvattu.

Tietomallinnusohje määrittelee tietomallin ensisijaiseksi suunnitelmadokumentiksi, josta tuotetaan suunnitelmapiirustuksia. Tietomallista tulee toimittaa ns. katseluversio, johon on tallennettu valmiita kuvantoja ja näkymiä mallista suunnitelman kuvaamiseksi. Katseluversiolle ei ole kuitenkaan eritelty tarkempia vaatimuksia, jolloin sen sisällön tuottaminen jää tulkinnan varaiseksi. Katselumallin tuottaminen havainnollistaa suunnitelman sisältöä ja varmistaa suunnittelijan haluamien yksityiskohtien tuomisen esiin, pelkän tietomalliselostuksen varassa toimittaessa näkymien suodattaminen jää mallin tulkitsijan vastuulle.

## 5 YHTEENVETO

### 5.1 Yleistä

Tutkimuksen lähtökohtana oli toteuttaa käytännön korjaussuunnittelukohde, aina erikoistarkastuksen toteuttamisesta korjaussuunnitteluun ja korjaussuunnitelmapiirustuksiin. Tavoitteena tutkimuksessa oli koota projektin aikana havaintoja tietomallipohjaisesta suunnitteluprosessista ja arvioida tietomallipohjaisen korjaussuunnitelman sisältöä verrattuna perinteisellä tavalla tuotettuihin suunnitelmapiirustuksiin. Lisäksi tavoitteena oli selvittää tietomallintamalla saavutettavia hyötyjä ja haasteita sillan korjaussuunnittelussa. Tutkimuksen tavoitteisiin pystyttiin vastaamaan tutkimuksen aikana kattavasti. Tutkimuksen yhteydessä toteutettu käytännön projektin läpivienti antoi hyvän kuvan siitä, kuinka suunnittelun lähtötietojen kokoaminen ja korjaussuunnittelu toteutetaan. Projektin aikana tehtiin monia havaintoja käytännön toteutuksesta ja perinteiseen suunnittelutapaan tottuneelle suunnittelijalle tietomallintamisen kautta syntyvistä lisähaasteista. Tutkimuksen kautta saatiin selvitettyä, kuinka nykyistä käytäntöä vastaava tietosisältö saadaan sisällytettyä uudella tekniikalla toteutettuihin suunnitelmiin. Tapaustutkimuksen esimerkiksiillan tietomallintaminen onnistui kokonaisuutena hyvin, yksittäisistä haasteista huolimatta.

Tutkimuksen yhteydessä selvitettiin myös tietomallipohjaisen korjaussuunnitteluhankkeen kulkua. Lisäksi perehdyttiin lähtötietojen tuottamiseen, jonka avulla korjaussuunnitelmat toteutettiin. Tutkimuksen toteuttaminen oli antoisaa myös projektin ohjauksen ja hallinnan kannalta. Projektin läpivieminen erikoistarkastuksen alkuvalmisteluista aina valmiisiin korjaussuunnitelmapiirustuksiin antoi työn tekijälle hyvän kuvan vastaavien projektien toteuttamisen vaatimista toimenpiteistä, jota voidaan hyödyntää tulevaisuudessa tietomallipohjaista korjaussuunnittelua toteutettaessa.

Tapaustutkimuksessa käytetty teräsbetoninen laattasilta vastaa Suomen siltakannassa tyypillisesti esiintyvää siltaa kokonsa, siltatyypinsä ja ikänsä puolesta. Sillan vaurioitumista ja peruskorjauksen yhteydessä tehtäviä korjaustoimenpiteitä voidaan pitää tavanomaisina. Tosin sillan reunoilla oleviin varauksiin on sijoitettu normaalia enemmän kunnallistekniikkaa. Varausten alueella kannen vesivuotovauriot korostuivat normaalia selkeämmin. Silta edustaa siis varsin hyvin keskimääräistä Suomen siltakannasta peruskorjaukseen nostettavaa siltaa.

Tutkimuksessa käytettiin korjaussuunnitelman mallintamiseen Tekla Structures -ohjelman versiota 20.0. Ohjelma on alalla tietomallinnukseen yleisesti käytetty. Tietomallintamisesta tehdyt havainnot perustuvat yksittäisen ohjelman ja korjaussuunnitteluprojektin tuottamiin käyttäjäkokemuksiin. Pitkälle vietyjä yleistyksiä tutkimuksen tuloksista

ei voida tehdä. Ohjelmistotekniset rajoitukset ja haasteet eivät edusta koko tietomallipohjaista suunnittelua. Koska mallintamiseen käytetty ohjelmisto ja sillan peruskorjaamiseksi mallinnetut korjaustoimenpiteet ovat varsin yleisiä, voidaan tehtyjä havaintoja kuitenkin pitää hyvin tietomallipohjaista sillan korjaussuunnittelua kuvaavina.

## 5.2 Tutkimuksen havainnot

Tutkimuksen perusteella tehdyt havainnot voidaan tiivistää kolmeen päätteeseen:

- Tietomallipohjaisesti toteutetun korjaushankkeen kulku poikkeaa perinteisestä korjaushankkeesta.
- Suunnittelijan kannalta kolmiulotteinen malli on erittäin havainnollinen.
- Toimintatavat ja mallinnustekniikat kaipaavat vielä kehittämistä.

Havainnoista, joiden perusteella päätteesit on kiteytetty, kerrotaan tarkemmin tässä ja seuraavassa luvussa.

Tietomallintamalla toteutettavan korjaushankkeen hyödyt ja haitat erikoistarkastuksen ja korjaussuunnittelun tilaajan kannalta voidaan tiivistää seuraavasti:

- Suunnitteluun ja erikoistarkastukseen käytettävä työn määrä lisääntyy.
- Korjaushankkeen vaatimuksiin vastaamiseksi tarvitaan vielä kehitystyötä mallinnustyökalujen luomiseksi.
- Hankkeen eri osapuolilla on erilaiset valmiudet toimia tietomallipohjaisesti toteutettavassa hankkeessa. Vaatii vielä opettelua ja kehittymistä hankkeen jokaiselta osapuolelta.
- + Kolmiulotteisuus ”pakottaa” suunnittelijan käymään rakenteen huolellisesti läpi, jolloin suunnittelun laatu paranee.
- + Sillan tiedot ja sille sen elinkaaren aikana tehdyt toimenpiteet on mahdollista koota samaan tietomalliin.
- + Tietomalli on erittäin havainnollinen. Vähentää korjaushankkeen osapuolten tekemiä tulkintavirheitä.

Toteutettaessa korjaushanketta tietomallipohjaisesti, havaittiin lähtötietojen hankkimisen ja lähtötietomallin aseman korostuvan. Lähtötietojen asemaa mallinnettavassa projektissa tulee pohtia jo ennen projektin aloittamista ja määrittää erikoistarkastuksen yhteydessä laadittavan lähtötietomallin laajuus ja tiedon kokoamistapa. Lähtötietomallin kokoaminen kolmiulotteiseksi malliksi jo erikoistarkastusvaiheessa lisää erikoistarkastukseen kuluvaan aikaan sekä nostaa työvaiheen kustannuksia. Lähtötietojen hankkimiseen käytettäviä menetelmiä tulee myös punnita tarkasti projektin alkuvaiheessa, tarkoituksenmukaisten työmenetelmien löytämiseksi. Käytettävät menetelmät tulisi sopia ennen lähtötietomallin kokoamista, kohteen vaatimusten ja vaurioiden mukaan. Käytettävät korjausmenetelmät ja korjattavat rakennneosat vaikuttavat menetelmien valintaan. Esimerkiksi laserkeilatun aineiston laajuus saattaa jopa hidastaa osaltaan projektin läpivientä, mutta tuottaa toisaalta kattavan aineiston kohteen kaikista näkyvistä rakenteista. Menetelmää ei siis kannata välttämättä käyttää, jos kyseessä on yksinkertainen korjaustoimenpide ja kohteen geometria on selvitettävissä kevyemmin keinoin.

Sillan korjaussuunnitelman mallintamisen laajuus tulee määritellä myös hankekohtaisesti. Pieniä ja geometrialtaan yksinkertaisia korjauskohteita ei ole välttämättä järkevää mallintaa lainkaan tai mallintaminen voidaan keskittää vain korjattaviin osiin sillasta yksinkertaistaen muut olemassa olevat rakenneosat. Laajempien korjausten yhteydessä mallintaminen nousee tehokkaammaksi vaihtoehdoksi. Tilaajan tulisi huomioida mallintamisen asettamat lisävaatimukset ja ennen projektin alkua sopia, mitä mallinnetaan, millä tarkkuudella ja miten lähtötiedot kootaan. Mallinnustarkkuus tulisi määritellä rakenneosakohtaisesti, riippuen siitä mitä korjauksia kyseiseen rakennosaan kohdistuu.

Korjaussuunnitelmamallin tekninen toteutus osoittautui lähtötietojen hyödyntämisen osalta haastavaksi. Lähtötietojen hyödyntämistä tietomallintamiseen käytettävässä ohjelmistossa on kehitettävä sujuvammaksi. Erityisesti olemassa olevasta rakenteesta mitatun geometrian tuominen malliin vaatii kehitystyötä. Mitattua geometriaa hyödynnettiin tutkimuksessa lähinnä pintarakenteiden mallintamisessa. Jotta mitattu geometria saadaan hyödynnettyä tilavuusobjektina tietomallissa, vaaditaan usean ohjelmiston ja tiedostomuodon käyttämistä. Tämä seikka ohjasi käyttämään alkuperäisiä suunnitelmia geometrian lähtötietona, joista mallinnustyö joudutaan tekemään manuaalisesti.

Tulevaisuudessa taitorakennerekisteriin koottava tietomallipohjainen tieto siltakanasta tulee helpottamaan lähtötietojen hankintaa ja kokoamista, kun tarvittavat tiedot ovat saatavilla valmiiksi tietomallimuodossa. Tietomallintamalla suunniteltujen siltojen saatuttaessa peruskorjauksiin, korjaussuunnittelu tietomallipohjaisesti tulee olemaan huomattavasti helpompaa verrattuna käsityönä piirrettyillä suunnitelmilla toteutettuihin siltoihin. Suunnitteluun käytettyjä tietomalleja voidaan käyttää lähtötietona korjaussuunnittelulle ja niiden perusteella päästään toteuttamaan korjaussuunnittelua jouhevammin ilman nykyisen rakenteen geometrian ja lähtötietojen laajamittaista selvittämistä. Sekä korjaussuunnitelman lähtötietojen että varsinaisen suunnitelman kokoaminen samaan tietomalliin mahdollistavat tiedon tallentamisen kootusti, jolloin koko sillan elinkaaren aikana tehtyt havainnot ja korjaustoimenpiteet voidaan tallentaa samaan paikkaan. Tämä tarjoaa sillan ylläpitäjälle mahdollisuuden tarkastella sillan tietoja ja sillalle tehtyjä toimenpiteitä koko sillan elinkaaren ajan.

Korjaussuunnitelman laatiminen mallintamalla osoittautui suunnittelijan kannalta erittäin havainnolliseksi. Suunnitelman kolmiulotteisuudesta on apua kokonaisuuden ja erityisesti detaljien hahmottamisessa. Tosin täytyy muistaa, ettei mallissa ole mitään, mitä siihen ei ole mallinnettu. Detaljien hahmottamiseksi ja suunnittelemiseksi olemassa olevan rakenteen mallintaminen täytyy myös viedä detaljitasolle. Tätä seikkaa tulee miettiä ennen mallintamiseen ryhtymistä ja määrittää hankekohtaisesti mallin tarkkuus ja tietosisältö johon pyritään. Mallin tarkkuus heijastuu myös määrätietoihin. Mikäli määriä halutaan poimia mallista, mallin tulee olla riittävän tarkka.

Täytyy kuitenkin muistaa, että mallintamisen perusajatus on välittää tietoa havainnollisessa muodossa lähtötiedoista suunnittelijalle, suunnittelijalta työmaalle ja työmaan valmiista tuotteesta ylläpitoon. Tietoa ja tietomalleja tuleekin tuottaa ja tehdä tiedonvälittämiseksi, ei pelkän mallintamisen takia. Tämä seikka voi unohtua helposti, jolloin vaati-



mukset mallin tarkkuustasosta ja mallissa esitettävistä asioista eivät enää palvele esimerkiksi mallin tarkoitusta välittää suunnittelijan suunnitelma työmaalle. Täytyy myös muistaa, että tällä hetkellä mallintamista tehdään suunnitelmien tuottamiseksi, eikä suunnitella mallintamalla. Tällä tarkoitetaan sitä, että tietomallilla pyritään tuottamaan vaatimuksia vastaavat suunnitelmapiirustukset. Tietomallia ei vielä käytetä pelkkänä suunnitelma-aineistona. Tämän ideologian muuttuessa, kun siirrytään pelkän tietomallin käyttämiseen, myös mallin tarkkuuden ja siinä esitettyjen asioiden vaatimukset lisääntyvät.

Tietomallintamisen ja tietotekniikan kehittyessä tietomallintaminen voi tarjota varsin kattavan ja kilpailukykyisen tavan huolehtia sillan suunnittelusta ja ylläpidosta sen elinkaaren aikana. Nykyisillä menetelmillä tietomallintamalla saadaan luotua nykyisiä suunnittelukäytäntöjä ja suunnitelman lopputuotteelle asetettuja vaatimuksia vastaavat suunnitelmat. Tulevaisuudessa tietokantojen kehittyessä saadaan lähtötietoja valmiiksi tietomallille sopivassa muodossa, jota tietomalli kykenee hyödyntämään suoraan ilman erillistä tarvetta muokata tietoa tai tiedostomuotoa. Yhä enemmän rakennuksia ja maastoa tulee löytymään valmiiksi kartoitettuna kolmiulotteisessa mittamaailmassa tai mallina. Tietomallintamalla voidaan vastata siltojen ylläpitoon liittyviin haasteisiin, tosin kehitettävää vielä riittää. Suunnitelmien tuottamiseksi tarvittavat panostukset ohjelmistojen käytettävyyden ja suunnitelmien sisällölle asetettujen vaatimusten kautta ovat tällä hetkellä vielä suuria. Jatkossa yhteisten rutiinien ja toimintatapojen löydyttyä tietomallintamalla toteutettu suunnittelu tulee olemaan tehokasta ja tuottavaa niin suunnittelun kuin rakentamisenkin kannalta.

### 5.3 Jatkokehityksen tarve

Tämän tutkimuksen tuloksista ja siltojen tietomallintamisen parissa työskentelevien henkilöiden kanssa käydyistä keskusteluista käy ilmi, että tietomallintamalla toteutettavassa suunnittelussa eletään vielä kehitysvaihetta, jossa haetaan toimintatapoja ja mallinnuskäytäntöjä. Kehitystyön ja käyttökokemusten kautta tehtävien havaintojen tarve on vielä ilmeinen. Kehityskohteita voidaan tunnistaa niin tietomallintamista ohjaavasta ohjeistuksesta kuin käytännön suunnittelutyöhön ja ohjelmistokehitykseen liittyvistä asiakokonaisuuksista.

Tietomallintamista käsittelevää ohjeistusta tulisi kehittää käsittelemään kattavammin korjaussuunnittelun tietomallintamista. Suuren siltajoukon saavutettua peruskorjausiän tulee peruskorjaaminen vaurioitumisen johdosta yhä nykyistäkin useammin olemaan peruskorjaamisen syy, ei niinkään toiminnallisten puutteiden poistaminen. Tätä vaihtoehtoa ei ohjeissa ole juurikaan huomioitu tai kuvattu. Ohjeissa tulisi lisäksi kuvata tarkemmin tietomallin vaatimukset yksittäisten korjaustoimien tapauksissa, jolloin koko rakenteen mallintaminen ei välttämättä ole järkevää. Tämä voidaan toteuttaa liittämällä ohjeisiin suuntaa-antavia ohjeita tilaajan kanssa sovittavista asioista, joille olisi valmiiksi määritetty tarkkuustaso tai mitä rakenneosia mallinnetaan, kunkin yksittäisen korjaustoimenpiteen kohdalla. Esimerkiksi, kun sillan kannen alapintaa korjataan laastipaikkaamalla, ei

olemassa olevan rakenteen geometrian tarkkuustason tarvitse olla samalla tasolla kuin elementtisillan yksittäistä elementtiä uusittaessa.

Tietomallintamalla toteutetun suunnitelman geometrian kokonaisvirhettä ei tämän tutkimuksen puitteissa tarkasteltu. Tätä seikkaa tulisi tutkia jatkossa, jotta saadaan määritettyä tarkkuustasot, joihin tietomallipohjainen lähtötietomallin ja valmiin korjaussuunnitelmanmallin tulisi pyrkiä. Olemassa olevan rakenteen geometriaa selvitettyä laserkeilauksella on oma tarkkuustasonsa. Näitä mittaustuloksia käytetään referenssinä luotaessa rakenteen geometriaa lähtötietomalliin, jolloin rakenteen geometriasta tehdään yleistyksiä, ellei mallia päästä tuottamaan suoraan mitatusta aineistosta. Lähtötietomallin perusteella toteutetaan korjaussuunnitelmanmalli, johon uudet rakenteet voidaan mallintaa suhteellisen tarkasti. Tämän jälkeen korjaukset toteutetaan käytännössä työmaalla. Tämän ketjun virheen tarkastelu olisi tärkeää määritettäessä tarkkuustasoja eri vaiheissa tehtävälle tiedon käsittelylle.

Joidenkin korjaussuunnitelmanmallilta ohjeissa vaadittujen yksittäisten rakenneosien mallintaminen on tämän hetkisillä työkaluilla teknisesti haastavaa. Tällä hetkellä osaan vaatimuksista ei pystytä vastaamaan tehokkaasti. Yksittäisiin tietomalliohjeissa esitettyihin vaatimuksiin vastaamiseksi tulee kehittää lisää mallinnustyökaluja, kuten ankurointiterästen mallinnustyökalu ja pintarakenteiden mallinnustyökalu. Jotta tietomalliohjeissa vaadittuihin tietomallin ominaisuuksiin voidaan vastata tehokkaasti ja projektitoiminnan kannalta taloudellisesti, tarvitaan suunnittelutoimiston sisäistä kehitystyötä. Keskeisimpänä kehityskohteenä tehokkaan suunnitelmien tuottamisen kannalta on kehittää mallin organisointia mahdollisimman pitkälle. Valmiiksi laadittu class- ja phase-jaottelu sekä filterien luominen nopeuttavat mallin luomista ja organisointia. Suunnitelmapii- rustusten tuottamista voidaan nopeuttaa luomalla valmiita filttäreitä, joilla tietomallista tuotetaan näkymiä suunnitelmapii- rustukseen. Lisäksi tietomalliin mallinnettavalle tiedolle täytyy luoda lisää mahdollisuuksia liittää tietoa mukaan tietomalliin siten, että tieto on helposti myös muiden käyttäjien helposti löydettävissä. Esimerkiksi korjaussuunnitelmassa perinteisesti esitetyille asioille ei ole omia kenttiään, joihin tietoa laatuvaatimuksista voidaan tallentaa. Tämä seikka korostuu erityisesti siinä vaiheessa kun suunnitelmapii- rustuksista luovutaan ja kohteet toteutetaan pelkän tietomallin avulla.

Ohjelmistotalojen tulisi kehittää tuotteitaan vielä paremmin vastaamaan alan tarpeita. Erityisesti kehitystyötä tarvitaan rakenteen geometrian mallintamiseen. Laserkeilattua aineistoa ei pystytä tehokkaasti hyödyntämään, koska mittapisteiden perusteella ei pystytä suoraan luomaan, rajaamaan tai leikkaamaan tilavuusobjekteja. Lisäksi suunnitelmapii- rustusten tuottaminen vaatii käyttäjältä useita muokkaustoimenpiteitä.

## LÄHTEET

- [1] Siltojen 3D-suunnittelu- ja mittausprosessin kehittäminen ja käyttöönottoaminen (Älykäs silta). Tiehallinnon selvityksiä 12/2005. Helsinki 2005, Tiehallinto. 62 s.
- [2] Heikkilä, R. Siltojen tuotemallintamisen ja rakentamisautomaation kehittäminen (5D-SILTA). Tiehallinnon selvityksiä 22/2008. Helsinki 2008, Tiehallinto. 47 s.
- [3] Siltojen tietomalliohje. Liikenneviraston ohjeita 6/2014. Helsinki 2014, Liikennevirasto. 57 s. + liit. 19 s.
- [4] Taitorakenteiden suunnittelun lähtötieto-ohje. Liikenneviraston ohjeita 21/2014. Helsinki 2014, Liikennevirasto. 52 s. + liit. 6 s.
- [5] InfraBIM. Yleiset inframallivaatimukset 2014 – YIV 2014 [WWW]. [Viitattu 30.10.2014]. Saatavissa <http://www.infrabim.fi/yiv2014/>
- [6] Suunnitteluohje, Taitorakenteiden tietomallinnusohje. Helsinki 2013, Helsingin kaupungin rakennusvirasto. 18 s.
- [7] Tietilasto 2013. Liikenneviraston tilastoja 4/2014. Helsinki 2014, Liikennevirasto. 49 s.
- [8] Siltarekisteri. Sillat käyttötarkoituksittain tien toiminnallisen luokan mukaan – raportti. Tulostettu 9.1.2015.
- [9] Dietrich, J., Inkala, M. Siltojen ylläpito, toimintalinjat. Helsingin kaupungin rakennusviraston julkaisut 2012:9. 23 s. + liit. 6 s.
- [10] Heikkilä, M. Sillat tarvitsevat korjausrahaa. Turun sanomat 2.3.2014.
- [11] Kasteenpohja, E. Suomen Tieyhdistys ry, Suomen yksityisteiden sillat. elina.kasteenoja@tieyhdistys.fi [Sähköposti] [Viitattu 22.4.2014]
- [12] Taitorakenteiden tarkastusohje. Liikenneviraston ohjeita 17/2013. Helsinki 2013, Liikennevirasto. 125 s. + liit. 18 s.
- [13] Tiesillat 1.1.2010. Liikenneviraston tilastoja 3/2010. Helsinki 2010, Liikennevirasto. 85 s.
- [14] Taitorakenteiden ylläpito, Toimintalinjat. Helsinki 2014, Liikennevirasto. Julkaisematon selvitys. 97 s.
- [15] Siltojen ylläpito. Toimintalinjat. Helsinki 2009, Tiehallinto. 31 s. + liit. 6 s.
- [16] Äijö, J., Virtanen, P. Liikenneväylien korjausvelka. Liikenneviraston tilastoja 42/2011. Helsinki 2011, Liikennevirasto. 64 s.

- [17] Rakennetun omaisuuden tila 2013. Roti raportti. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2.1.2015]. Saatavissa: [www.roti.fi/fin/roti/materiaalipankki](http://www.roti.fi/fin/roti/materiaalipankki)
- [18] Taitorakenteiden hallintajärjestelmän periaatteellinen toiminta. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 28/2011. Helsinki 2011, Liikennevirasto. 229 s. + liit. 4 s.
- [19] Siltojen vuositarkastusohje. Helsinki 2009, Tiehallinto. 41 s. + liit. 5 s.
- [20] Rytönen, T. Miten sillat voivat Helsingissä? Helsingin kaupungin Rakennusvirasto. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 26.9.2014]. Saatavissa: [www.hel.fi/static/hkr/katu/6\\_timo\\_rytonen.pdf](http://www.hel.fi/static/hkr/katu/6_timo_rytonen.pdf)
- [21] Sillantarkastuskäsikirja. Liikenneviraston ohjeita 26/2013. Helsinki 2013, Liikennevirasto. 94 s. + liit. 39 s.
- [22] Sillantarkastuskäsikirja. 7. tarkastettu painos. Helsinki 2006, Tiehallinto. 78 s. + liit. 20 s.
- [23] Laaksonen, A. Betonisillat, opintomoniste. Tampere 2014, Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisematon opintomoniste.
- [24] Pintarakenteiden nopeutetut korjausmenetelmät. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 39/2011. Helsinki 2011, Liikennevirasto. 42 s. + liit. 26 s.
- [25] Torkkeli, M., Lilja, H. Ajoneuvoasetuksen muutos 2013. Turku 7.10.2013, Liikennevirasto. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 10.7.2014]. Saatavissa: <http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/DD220DE154A3ED21E040B40A1B016E75>
- [26] Torkkeli, M., Lilja, H., Tirkkonen, T. Ajoneuvoasetuksen muutos 2013, Vaikutukset siltoihin. M&M tulosseminaari 7.5.2014, Liikennevirasto. [Verkkajulkaisu]. [Viitattu 2.1.2015]. Saatavissa: <http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/FA4CC4CD0014552AE040B40A1A0119ED>
- [27] Betonisiltojen korjaussuunnitteluohje. Betonisiltojen levennysten ja suurempien valukorjausten mitoitus- ja suunnitteluohje. Liikenneviraston ohjeita 17/2011. Helsinki 2011, Liikennevirasto. 54 s. + liit. 4 s.
- [28] Siltojen kantavuuden laskentaohje. Helsinki 2000, Tiehallinto. 15 s. + liit. 7 s.
- [29] SILKO 1.101. Yleisohjeet, ohjeiden tarkoitus, käyttö ja tilaaminen. Helsinki 2002, Tiehallinto. 5 s.
- [30] SILTA – HULKO. Siltojen korjaussuunnittelussa sovellettavat siltojen korjausten laatuvaatimukset. Ratahallintokeskus. Julkaisematon ohje. 101 s.
- [31] Betonirakenteiden korjausohjeet, BY 41. Helsinki 2007, Suomen Betoniyhdistys ry. 110 s.

- [32] Äijälä, M. Sillan rakennuksen perusteet, Siltojen ylläpito ja korjaus. Tampere 2013. Tampereen teknillinen yliopisto. Julkaisematon luentoaineisto. 37 s.
- [33] SFS-EN 1504-9. Betonirakenteiden suojaus- ja korjausaineet ja niiden yhdistelmät. Määritelmät, vaatimukset, laadunvalvonta ja vaatimustenmukaisuuden arviointi. Osa 9: Suojaus- ja korjausaineiden ja niiden yhdistelmien periaatteet. Helsinki 2009, Suomen standardoimisliitto SFS. 27 s.
- [34] Siltojen suunnitelmat. Helsinki 2009, Tielaitos. 30 s. + liit. 18 s.
- [35] Tietomallipohjaisesti suunniteltavan sillan suunnitelma-asiakirjojen kehittäminen. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 36/2014. Helsinki 2014, Liikennevirasto. 33 s. + liit. 22 s.
- [36] Penttilä, H., Nissinen, S., Niemioja, S. Tuotemallintaminen rakennushankkeessa. Tampere 2006, Rakennustieto Oy. 56 s. + liit. 8 s.
- [37] Hietanen, J. Tietomallit ja rakennusten suunnittelu. Filosofinen selvitys tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksista. Tampere 2005, Rakennustieto Oy. 95 s.
- [38] Eastman, C., Teicholz, P., Sacks, R., Liston, K. BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors. 2008, John Wiley & Sons, Inc. 485 p.
- [39] Kari, V. Laserkeilaus ja pistepilven käsittely ydinvoimarakentamisessa. Opinnäytetyö. Tampere 2011. Tampereen ammattikorkeakoulu, Rakennustekniikan koulutusohjelma. 82 s.
- [40] Tekla User Assistance. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 16.12.2014]. Saatavissa: <http://teklastructures.support.tekla.com/>
- [41] Junnonen, J-M. Tietotekniikkaa hyödyntävä infrasuunnittelu. Helsinki 2009, Rakennusteollisuuden Kustannus RTK Oy. 102 s.
- [42] Liukas, J., Kemppainen, L. PRE/Inframallin vaatimukset ja -ohjeet. Osa 2. Yleiset vaatimukset. (Luonnos 15.1.2014) [Viitattu 17.9.2014]. Saatavissa: [http://infrabim.fi/luonnokset/InfraBIM\\_Mallinnusohjeet\\_OSA\\_2\\_Yleiset%20vaatimukset\\_1\\_5.pdf](http://infrabim.fi/luonnokset/InfraBIM_Mallinnusohjeet_OSA_2_Yleiset%20vaatimukset_1_5.pdf)
- [43] Joala, V. Laserkeilauksen perusteita ja mittauksen suunnittelu. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.5.2014]. Saatavissa: <https://docs.google.com/file/d/0B3MfAq-wXowIN2Q4MzJIYjktZTA5Ni00ZGM5LTlkOWUt-NTQzMdIwZTI3NDVm/edit?hl=en&pli=1>
- [44] Joala, V. Laserkeilainten toimintaperiaatteet ja kalibrointi. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu 40 – Maanmittaustieteiden päivät 2003. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 21.5.2014]. Saatavissa: <http://mts.fgi.fi/paivat/2003/paperit/joala.pdf>

- [45] FARO Focus 3D laserskanneri, tekniset tiedot. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.5.2014]. Saatavissa: [http://www.geostar.fi/user\\_data/doc/FARO\\_Laserskanneri\\_Focus3DS120\\_Tekniset\\_tiedot\\_.pdf](http://www.geostar.fi/user_data/doc/FARO_Laserskanneri_Focus3DS120_Tekniset_tiedot_.pdf)
- [46] Kukko, A. Laserkeilainten valinta lähifotogrammetrisiin mittaustehtäviin. Fotogrammetrian erikoistyö. Aalto yliopisto, Maankäyttötieteiden laitos. Helsinki 2005. 22 s.
- [47] Skannauksesta tietomalliin. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 23.7.2014]. Saatavissa: [http://www.tekla.com/document/vrtskannauksestatietomalliinkirsihanninen-pdf?cm\\_mid=3605970&cm\\_crmid=8dc1fbce-29b4-df11-803a-005056b0251e&cm\\_medium=email](http://www.tekla.com/document/vrtskannauksestatietomalliinkirsihanninen-pdf?cm_mid=3605970&cm_crmid=8dc1fbce-29b4-df11-803a-005056b0251e&cm_medium=email)
- [48] Multibeam Sonar Theory of Operation. L-3 Communications SeaBeam Instruments 2000. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 22.5.2014]. Saatavissa: <http://www.mbari.org/data/mbsystem/sonarfunction/SeaBeamMultibeamTheoryOperation.pdf>.
- [49] Kankare, P. Luotausmenetelmät ja –laitteet maailmalla. Insinööritö. Helsinki 2013. Metropolia Ammattikorkeakoulu, Maanmittaustekniikan koulutusohjelma. 51 s.
- [50] Leppälä, A., Saarenketo, T., Varin, P. & Maijala, P. Using 3D GPR, laser scanner and high precision thermal camera techniques in concrete bridge deck condition surveys. 2014. 13 s.
- [51] Ground Penetrating Radar. Canadian Subsurface Investigations Inc. [Verkkosivusto] [Viitattu 24.7.2014]. Saatavissa: <http://www.canadiansubsurface.com/gpr.html>
- [52] Rakenteen parantamissuunnittelua edeltävät maatulkatutkimukset ja tulosten esitystapa – menetelmäkuvaus. Helsinki 2004, Tiehallinto. 41 s.
- [53] Dielektrinen aine. Wikipedia. [Verkkosivusto] [Viitattu 3.7.2014]. Saatavissa: [http://fi.wikipedia.org/wiki/Dielektrinen\\_aine](http://fi.wikipedia.org/wiki/Dielektrinen_aine)
- [54] Lehtiniemi, A. Lähifotogrammetrian käyttö 3D-skannaustekniikkana. Prototyypijärjestelmien toteuttaminen ja testaus. Opinnäytetyö. Ylivieska 2013. Centria ammattikorkeakoulu. Mediatekniikan koulutusohjelma. 57 s.
- [55] Basics of photogrammetry. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.7.2014]. Saatavissa: [http://tdserver1.fnal.gov/darve/mu\\_cool/pressuretest/Basics\\_of\\_Photogrammetry.pdf](http://tdserver1.fnal.gov/darve/mu_cool/pressuretest/Basics_of_Photogrammetry.pdf)
- [56] Erving, A. CityGML mallinnus fotogrammetrisesti. Maanmittaustieteiden Seuran julkaisu n:o 44. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 18.7.2014]. Saatavissa: [http://mts.fgi.fi/paivat/2007/Anna\\_Erving.pdf](http://mts.fgi.fi/paivat/2007/Anna_Erving.pdf)

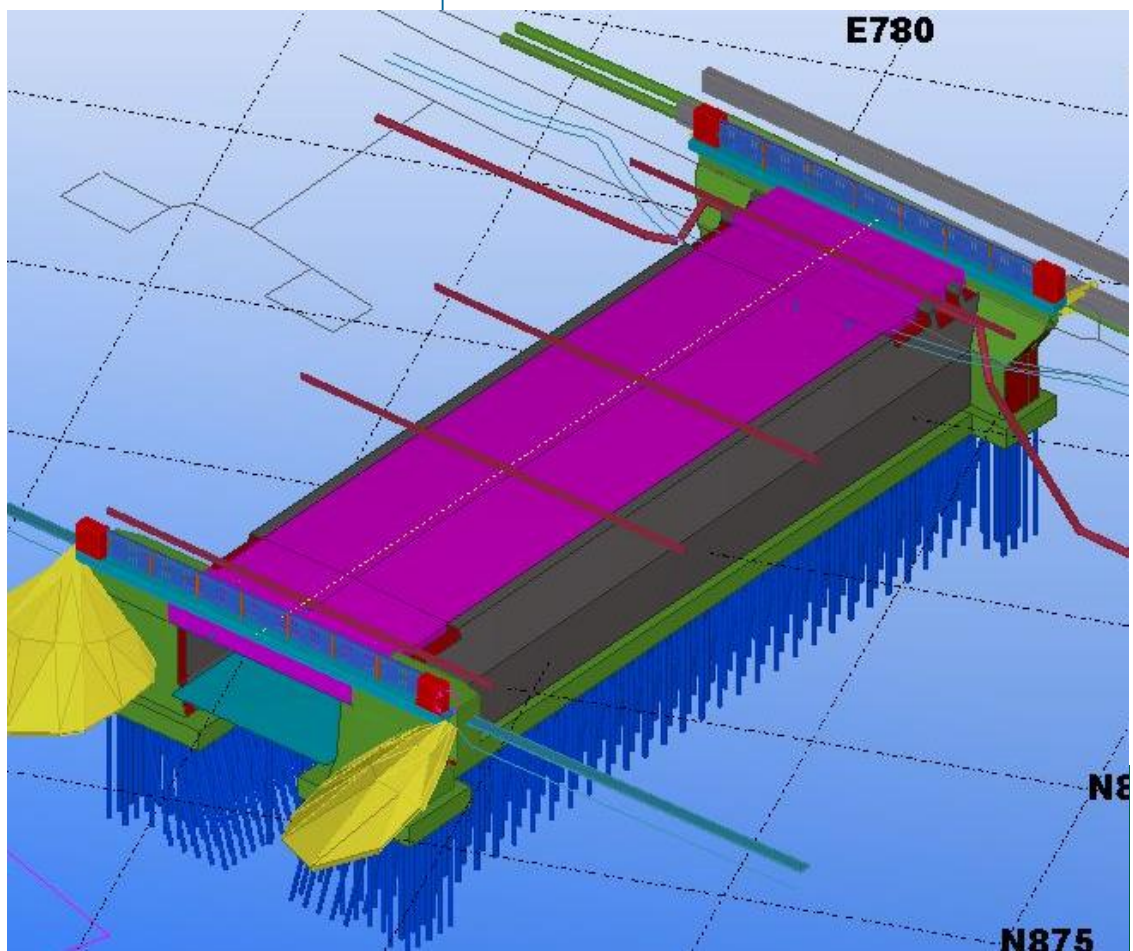
- [57] Koikkalainen, K. Rakennustyömaan mittaustyöt takymetrillä. Opinnäytetyö. Lappeenranta 2012. Saimaan ammattikorkeakoulu. Rakennusalan työnjohdon koulutusohjelma. 23 s.
- [58] Wikman, E. Takymetri – Mittaustyökalu moneen käyttöön. Maankäyttö (2010)4, s. 18-20.
- [59] Liukas, J. Virtanen, J. PRE/inframallin vaatimukset ja ohjeet. Osa 3.0. Lähtötiedot. (Luonnos 15.1.2014). [Viitattu 19.5.2014]. Saatavissa: [http://infra-bim.fi/luonnokset/YIV2014\\_Mallinnusohjeet\\_OSA3\\_Lahtotiedot\\_1\\_3.pdf](http://infra-bim.fi/luonnokset/YIV2014_Mallinnusohjeet_OSA3_Lahtotiedot_1_3.pdf)
- [60] SILKO, Siltojen korjausohjeet. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.1.2015]. Saatavissa: <http://www.liikennevirasto.fi/silko>
- [61] InfraRYL 2006, Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 3 Sillat ja rakennustekniset osat. Hämeenlinna 2008, Rakennustietosäätiö RTS. 279 s.
- [62] Siltatyypipiirustukset. [Verkkojulkaisu]. [Viitattu 19.1.2015]. Saatavissa: <http://www.liikennevirasto.fi/sillat>
- [63] Savolainen, Jarkko. Insinööri (AMK), Suunnittelija, A-Insinöörit Suunnittelu Oy. Tampere. Keskustelu 8.1.2015
- [64] Partala, Eetu. Insinööri (AMK), Suunnittelija, Ramboll Finland Oy. Tampere. Keskustelu 12.1.2015
- [65] Lipponen, Päivi. Tekniikan kandidaatti. Suunnittelija, Sito Oy. Espoo. Keskustelu 22.1.2015
- [66] Ari Savolainen. Diplomi-insinööri. Johtava asiantuntija, Sito Oy. Espoo. Keskustelu 26.1.2015
- [67] Heikkilä, Rauno. Dosentti, Oulun Yliopisto. Tampere. Keskustelu 16.1.2015
- [68] Ketolainen, Jari. Työmaamestari. YIT Oyj. Helsinki. Keskustelu 23.1.2015
- [69] Tie- ja ratahankkeiden maastotiedot – Mittausohje. Liikenneviraston ohjeita 18/2011. Helsinki 2011, Liikennevirasto. 28 s. + liit. 169 s.

**LIITE 1:**  
**KORJAUSSUUNNITELMAMALLIN TIETOMALLISELOSTUS**



1 (12)

**Paciuksenkadun silta**  
**U-1367**  
**Helsinki**



**TIETOMALLISELOSTUS**

- KORJAUSSUUNNITELMAMALLI

ENNAKKOKOPIO

9.1.2014

Työnro 429045.2

Ins (AMK) Simo Nykänen



**SISÄLLYSLUETTELO**

<b>1</b>	<b>YLEISTÄ</b>	<b>3</b>
1.1	Työn tilaaja	3
1.2	Kohteen tunnistetiedot ja yleiskuvaus	3
<b>2</b>	<b>MALLIN SISÄLTÖ</b>	<b>3</b>
2.1	Rakenneosakokonaisuudet	3
2.1.1	Nykyiset rakenneosat	3
2.1.2	Kuntotutkimukset	5
2.1.3	Korjaustöiden yhteydessä purettavat rakenneosat	5
2.1.4	Liikennejärjestelyt	6
2.2	Korjaustyöt	6
2.3	Koordinaatisto	7
2.4	Mallin organisointi	8
2.5	Referenssit	11
2.6	Muuta huomioitavaa	12

**A-Insinöörit Suunnittelu Oy****ESPOO**

Bertel Jungin aukio 9  
02600 Espoo  
Puh. 0207 911 777  
Fax 0207 911 779

**TAMPERE**

Satakunnankatu 23 A  
33210 Tampere  
Puh. 0207 911 777  
Fax 0207 911 778

E-mail:  
etunimi.sukunimi@ains.fi  
Internet:  
www.a-insinoorit.fi

Y-tunnus 0211382-6  
Kotipaikka Tampere

## 1 YLEISTÄ

### 1.1 Työn tilaaja

Helsingin kaupunki - Rakennusvirasto, Katu- ja puisto-osasto  
Kasarmikatu 21  
00130 HELSINKI

Projektipäällikkö Eero Sihvonen  
Toimistopäällikkö Pekka Isoniemi

### 1.2 Kohteen tunnistetiedot ja yleiskuvaus

Projektin tunnistetiedot:

Projekti	<b>Paciuksenkadun sillan korjaaminen</b>	
Laatija	Simo Nykänen	
Ohjelmistoversio	Tekla Sturture 20.0	
Formaatti	Tekla Sturture natiivi (.db1)	
Tiedoston nimi	Korjaussuunnitelmamalli.db1	
PVM	31.10.2014	
Status	Ennakkokopio	9.1.2015
Kohde	Paciuksenkadun silta	
Sillan numero	U-1307	
Kunta	Helsinki	
Tieosa	Paciuksenkatu	
Tieosoite	1-002-01596 Huopalahdentie	
Jännemitat	7,8 m	
Kokonaispituus	16,0 m	
Hyödyllinen leveys	32,5 m	
Kokonaisleveys	33,5 m	
Alikulkukorkeus	2,12 m	
Vinous	0,0 gon	

## 2 MALLIN SISÄLTÖ

Tietomalli sisältää sillan massat alus- ja päällysrakenteen osilta. Pintarakenteiden osalta on mallinnettu suuntaa antava rakennekerrosten sijainti. Malli sisältää vuonna 1993 sillalle tehdyt korjaustyöt ja erikoistarkastuksessa otettujen näytteiden tiedot. Mallissa on esitetty peruskorjauksen yhteydessä sillalle tehtävät korjaustoimenpiteet ja työn aikaisten liikennejärjestelyjen vähimmäisvaatimukset.

### 2.1 Rakenneosakokonaisuudet

#### 2.1.1 Nykyiset rakenneosat

##### 100 Maatuki T1

Maatuen geometria on mallinnettu alkuperäisten suunnitelmien ja korjaussuunnitelmien perusteella. Kivirakenteen pinta yksinkertaistettu. Geometria sovitettu pistepilviaineiston perusteella koordinaatistoon

#### A-Insinöörit Suunnittelu Oy

**ESPOO**  
Bertel Jungin aukio 9  
02600 Espoo  
Puh. 0207 911 777  
Fax 0207 911 779

**TAMPERE**  
Satakunnankatu 23 A  
33210 Tampere  
Puh. 0207 911 777  
Fax 0207 911 778

E-mail:  
etunimi.sukunimi@ains.fi  
Internet:  
www.a-insinoorit.fi

Y-tunnus 0211382-6  
Kotipaikka Tampere

Nykyistä raudoitusta ei mallinnettu. Uusien reunapalkkien rauditus on mallinnettu  
Varusteet mallinnettu  
Status: Tarkastamatta

#### **200 Maatuki T2**

Maatuen geometria on mallinnettu alkuperäisten suunnitelmien ja korjaussuunnitelmien perusteella. Kivirakenteen pinta yksinkertaistettu. Geometria sovitettu pistepilviaineiston perusteella koordinaatistoon  
Nykyistä raudoitusta ei mallinnettu. Uusien reunapalkkien rauditus on mallinnettu  
Varusteet mallinnettu  
Status: Tarkastamatta

#### **400 Päälysrakenne**

Päälysrakenteen geometria on mallinnettu alkuperäisten ja korjaussuunnitelmien perusteella. Kivirakenteen pinta ja kannen alapinnan esikohotus yksinkertaistettu. Geometria sovitettu pistepilviaineiston perusteella koordinaatistoon  
Nykyinen rauditus mallinnettu kannen reunoilla oleviin palkkeihin, joihin ankkuroidaan uusia teräksiä. Uusien reunapalkkien rauditus on mallinnettu  
Varusteet mallinnettu  
Status: Tarkastamatta

#### **600 Varusteet ja laitteet**

Nykyisten varusteiden ja laitteiden sijainti ja tilavaraus mallinnettu suunnitelmapii-rustusten perusteella. Uusien varusteiden ja laitteiden sijainti ja tilavaraus mallinnettu.  
Kaapeli- ja putkitiedot suuntaa antavia. Sijainti xy-tasossa on mallinnettu johtotietokartan perusteella. Kaapelien osalta korkeus on arvioitu sillan kannen varausten perusteella. Kaukolämpöputken osalta korkeusasemat on selvitetty vanhasta suunnitelmasta. Vesiputken korkeusasema suuntaa antava.

#### **900 Muut siltapaikan rakenneosat**

Keilojen geometria mallinnettu laserkeilatun aineiston perusteella harvalla kolmi-oinnilla.  
Reunakivet sovitettu tien laserkeilattuun geometriaan.  
Uudet pengerkaiteet mallinnettu.

#### **1000 Muu mallinnustekninen tieto**

Immateriaalitietona on mallinnettu (muoto, mitat, numerointi ja nimeäminen):

- Hyötyleveys HL profiilina D50, arvo objektin Name-kentässä
- Jännemitta profiilina D50, arvo objektin Name-kentässä
- Tukilinjat profiililla D50 korkeudessa 0m, tukilinjan nimi objektin Name-kentässä

Keilojen ja tienpinnan pintamalli liitetty tietomalliin referenssinä hahmottamista varten. Rakenneosia korjattaessa tai suunniteltaessa on noudatettava mallinnettua tietoa.

### 2.1.2 Kuntotutkimukset

#### 1050 Erikoistarkastuksen tutkimukset, A-Ins 2014

Erikoistarkastuksissa otettujen näytteiden sijainti ja tutkimusten tulokset on mallinnettu tietomalliin. Kohtaa, josta näyte on otettu, kuvaa D200 profiili. Objektiin Name-kentässä näytteen tunnus. Tulokset UDA tiedoissa FI-betoni välilehdellä seuraavasti:

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| - Pintakäsittelyluokka      | Kloridipitoisuus, syvyydeltä 0...20mm  |
| - Pintakäsittely 1          | Kloridipitoisuus, syvyydeltä 20...40mm |
| - Pintakäsittely 2          | Kloridipitoisuus, syvyydeltä 40...60mm |
| - Viisteet 1                | Vetokokeen tulos                       |
| - Viisteet 2                | Uusitun vetokokeen tulos               |
| - Muotistanostolujuus       | Ohuthien kuntoarvio                    |
| - Kuljetus ja asennuslujuus | Ohuthien rapautuneisuus                |

#### 1060 Erikoistarkastuksen tutkimukset, Silta Expertit 2012

Erikoistarkastuksissa otettujen näytteiden sijainti ja tutkimusten tulokset on mallinnettu tietomalliin. Kohtaa, josta näyte on otettu, kuvaa D200 profiili. Objektiin Name-kentässä näytteen tunnus. Tulokset UDA tiedoissa FI-betoni välilehdellä seuraavasti:

- |                             |  |
|-----------------------------|--|
| - Pintakäsittelyluokka      | Kloridipitoisuus, syvyydeltä 0...20mm  |
| - Pintakäsittely 1          | Kloridipitoisuus, syvyydeltä 20...40mm |
| - Pintakäsittely 2          | Kloridipitoisuus, syvyydeltä 40...60mm |
| - Viisteet 1                | Vetokokeen tulos                       |
| - Viisteet 2                | Uusitun vetokokeen tulos               |
| - Muotistanostolujuus       | Ohuthien kuntoarvio                    |
| - Kuljetus ja asennuslujuus | Ohuthien rapautuneisuus                |

### 2.1.3 Korjaustöiden yhteydessä purettavat rakenneosat

#### 1100 Maatuelta T1 purettavat rakenteet

Purettavien rakenneosien geometria on mallinnettu

#### 1200 Maatuelta T2 purettavat rakenteet

Purettavien rakenneosien geometria on mallinnettu

#### 1400 Purettavat päällysrakenteet

Purettavien rakenneosien geometria on mallinnettu, lukuun ottamatta poistettavia päällystekerroksia.

#### 1600 Purettavat varusteet ja laitteet

Purettavien varusteiden ja laitteiden geometria on mallinnettu, lukuun ottamatta poistettavia tippuputkia.

#### 1900 Purettavat siltapaikan rakenneosat

Siltapaikan purettavia rakenteita ei ole mallinnettu. Siltapaikan purettavia rakenteita ovat pengerkaiteet.

#### 1950 Piikkausrajat

Betonin piikkausrajojen sijainti mallinnettu

#### **2.1.4 Liikennejärjestelyt**

Liikennejärjestelyjen eri vaiheet on sijoitettu omille phase-tasolleen. Käytössä phaset 5-8. Liikennejärjestelyissä on eroteltu omille class-numeroilleen (ks. kohta 2.4) ajoneuvoliikenteen kaistojen, kevyen liikenteen ja liikenteenohjauksen vaatima tila sekä alue, jolla voidaan työskennellä.

### **2.2 Korjaustyöt**

#### **2000 Aiemmat korjaukset**

Sillalle vuonna 1993 tehdyt korjaukset mallinnettu korjaussuunnitelmien perusteella.

Raudoitusta ei mallinnettu.

Status: ei tarkastettu

#### **2100 Pintarakenteet ja irtonainen muotoiluvalu uusitaan**

Korjaustyöhön liittyvät toimenpiteet on mallinnettu, geometria ja sijainti.

Mallinnettu suuntaa antava asfaltti- ja vedeneristekerrosten sijainti ja geometria.

Päällysteen geometria toteutetaan nykyistä pintaa vastaavasti. Nykyisiä pintarakenteita ei ole mallinnettu, pois lukien nykyinen vedeneriste.

Status: ei tarkastettu

#### **2101 Reunapalkit uusitaan**

Uusien rakenneosien geometria mallinnettu

Raudoitus ja tartunnat mallinnettu

Status: ei tarkastettu

#### **2102 Kannen reunojen elementtikansien saumat uusitaan**

Geometria mallinnettu

Status: ei tarkastettu

#### **2103 Kanavien pohjat muotoillaan, eristetään ja tehdään tippuputket**

Geometria mallinnettu

Varusteet ja laitteet mallinnettu ja asemoitu

Status: ei tarkastettu

#### **2104 Kannella uusitaan tippuputket ja kanavointi**

Geometria mallinnettu

Varusteet ja laitteet mallinnettu ja asemoitu

Status: ei tarkastettu

#### **2105 Kannen reunoilla uusitaan rapautunut ja kloridipitoinen betoni**

Geometria mallinnettu

Status: ei tarkastettu

#### **2106 Kannen alapinnan yksittäiset vauriot piikataan ja paikataan**

Alue, jolle korjaustoimet kohdistuvat kuvattu pintana mallissa

Status: ei tarkastettu

**2107 Kannen ala- ja pystypinnat pinnoitetaan**

Korjaustoimenpidettä ei ole mallinnettu geometriana. Korjattavan alueen betonipintojen UDA-tietoihin lisätty pintakäsittely pinnoittamalla (FI-Betoni -välilehti).

Status: ei tarkastettu

**2108 Kaiteet uusitaan**

Geometria mallinnettu, sisältää sillan ja pengerkaiteen varusteineen.

Varusteet ja laitteet mallinnettu ja asemoitu

Status: ei tarkastettu

**2109 Sillan päihin tehdään liikuntasaumamat**

Geometria mallinnettu yksinkertaistetusti, sisältää liikuntasauaman alustan tasaukseen tarvittavat valut ja tasoitteet

Varusteet ja laitteet mallinnettu ja asemoitu

Status: ei tarkastettu

**2110 Tulopenkereen päällyste uusitaan**

Asfalttikerrosten sijainti suuntaa antava. Päällysteen ja reunakivien geometria toteutetaan nykyistä vastaavasti.

Status: ei tarkastettu

**2111 Keilat siistitään, kivirakenteiden vaurioituneet saumat uusitaan ja rakenteet puhdistetaan**

Korjattava alue kuvattu mallissa. Keilojen geometria mallinnettu yksinkertaistetusti.

Status: ei tarkastettu

**2.3 Koordinaatisto**

Tietomallin paikallisen koordinaatiston origo sijaitsee pisteessä  $X=6\,675\,800$  (m);  $Y=25\,493\,700$  (m). Koordinaattijärjestelmä ETRS-GH25. Tietomallin paikallisen koordinaatiston Y-akseli positiivinen suunta osoittaa globaalin koordinaatiston pohjoissuuntaan. Mallin korkeusjärjestelmä on N2000 ja mittayksikkö millimetri.

Mallin paikallisesta koordinaatistosta pisteet voidaan muuntaa maantieteelliseen koordinaatistoon kaavoilla:

$$N_{\text{ETRS-GK25}} = (25493700000 + Y_{\text{local}}) / 1000$$

$$E_{\text{ETRS-GK25}} = (6675800000 + X_{\text{local}}) / 1000$$

$Y_{\text{local}}$  = Y-koordinaatti tietomallin paikallisessa koordinaatistossa millimetreinä

$X_{\text{local}}$  = X-koordinaatti tietomallin paikallisessa koordinaatistossa millimetreinä

## 2.4 Mallin organisointi

Mallin **Phase**-jaottelu:

Phase nro	Nimi
	Liikennejärjestelyt
	5 Vaiheen 1 liikennejärjestelyt
	6 Vaiheen 2 liikennejärjestelyt
	7 Vaiheen 3 liikennejärjestelyt
	8 Vaiheen 4 liikennejärjestelyt
100-900	Olemassaolevat rakenteet
	100 Maatuki T1
	200 Maatuki T2
	400 Päälysrakenne
	600 Varusteet ja laitteet
	900 Muut siltapaikan rakennusosat
	1000 Muu mallinnustekninen tieto
1050-1090	Rakenteelle tehtyt tutkimukset
	1050 A-Insinöörien erikoistarkastus
	1060 Silta-Experttien erikoistarkastus
1100-1999	Purettavat rakenteet
	1100 Maatuki T1 purettavat rakenteet
	1200 Maatuki T2 purettavat rakenteet
	1400 Päälysrakenne purettavat rakenteet
	1600 Varusteet ja laitteet, purettavat
	1900 Muut siltapaikan rakennusosat
2000-2999	Korjaustyöt
	2000 Aiemmin tehtyt korjaukset
	Sillalle tehtävät korjaustyöt
	2100 - pintarakenteet ja irtonainen muotoiluvalu uusitaan
	2101 - reunapalkit uusitaan
	2102 - kannen reunojen elementtikannet saumataan
	2103 - kanavien pohjat muotoillaan, eristys ja tippuputket
	2104 - uusitaan tippuputket ja kanavointi
	2105 - kannen alapinnan reunat ruiskubetonoidaan
	2106 - kannen alapinnan yksittäiset vaurioit paikataan
	2107 - kannen ala- ja pystypinnat pinnoitetaan
	2108 - kaiteet uusitaan
	2109 - sillan päihin tehdään liikuntasaumamat
	2110 - tulopenkereen päällyste uusitaan
	2111 - keilat siistitään, kaikki kivirakenteet saumataan ja puhdistetaan

Mallin **rakenneosien** numerointi:

Class nro	Nimi	NAME (mallissa)
Sillan perusmitat		
2	Hyötyleveys	HL_33045
3	Jännemitta	JM_7200
4	Tukilinjat	TUKILINJA
10	Aputaso	Vaihtelee objektin mukaan
Liikennejärjestelyjen aikana tarvittava tilavaraus		
51	Ajoneuvot	LJ_AUTO
52	Kevytliikenne	LJ_KEVYTLIIK
53	Liikenteenohjaus	LJ_OHJAUS
54	Työskentelyalue	LJ_TYÖALUE
100 Alusrakenne		
106	Etumuuri	ETUMUURI
108	Siipimuuri	SIIPIMUURI
113	Alusrakenteen reunapalkki	ALUSRAK_REUNAPALKKI
114	Ukkopylväs	UKKOPYLVÄS
116	Paalutuki	PAALU
121	Alusrakenteen saumaus	ALUSRAKENTEEN_SAUMAUS
150	Paaluantura	PAALUANTURA
200 Reunapalkkirakenteet		
201	Reunapalkki	REUNAPALKKI
203	Reunapalkin liikuntasäuma	RP_LIIKUNTASAUMA
300 Päällysrakenne		
301	Kansilaatta	KANSI
302	Pääkannattaja, palkki	PALKKI
331	Jälkivalu / muotoiluvalu	MUOTOILUVALU
332	Kansilaatta ruiskubetoni	KANSI_RUISKUBETONI
333	Kansilaatta paikkaus	KANSI_PAIKKAUS
335	Elementti kannet	KANSIELEMENTTI
336	Vastakallistus	VASTAKALLISTUS



400 Päälysteet		
401 Päälyste, kulutuskerros		PÄÄLYSTE_AJORATA PÄÄLYSTE_KEVARI
402 Päälysteen sauma		PÄÄLYSTEEN_SAUMAUS
408 Päälysteen tukikerros		PÄÄLYSTE_KANTAVA
Raitiovaunukiskojen		
411 soratäyttö		SORATÄYTTÖ
412 Vanhat pintakerrokset		PINTARAKENNE_VANHA
500 Pintarakenne		
501 Suojakerros (suojabetoni)		AB_SUOJAKERROS
502 Vedeneriste		VEDENERISTE
600 Kaiteet		
601 Kaidepylväs		KAIDEPYLVÄS
602 Siltakaiteen johde ja säleet		JOHDE_SÄLEET
604 Suojaverkko		SUOJAVERKKO
611 Kaidepylvään pohjalevy		POHJALEVY
612 Kaidepylvään pulttikiinnitys		PULTTIKIINNITYS
614 Kaidepylvään alustavalu		ALUSTAVALU
615 Kaiteen kiipeilyeste		KIPEILYESTE
700 Liikuntasaumalaitteet		
Vedeneristeen		
708 liikuntasauma		LIIKUNTASAUMA_ERISTE
800 Varusteet ja laitteet		
806 Tippuputki		TIPPUPUTKI
807 Salaoja		SALAOJA
900 Siltapaikan rakenteet		
902 Keila		KEILA
905 Reunus tiellä		REUNUS_TIELLA
910 Pengerkaide		PENGERKAIDE
946 Pengerkaiteen pylväs		PENGERKAIDE_PYLVÄS
956 Pengerkaiteen korotusosa		TIE_KEVYTKAIDE
960 Sähkökaapeli		SÄHKÖKAAPELI
961 Vesijohto		VESIJOHTO
962 Kaukolämpö		KAUKOLÄMPÖ
963 Telekaapeli		TELE
964 Reunakiven asennusalusta		REUNAKIVI_ASENNUS

### Muut työt / rakenneosat

999 Immateriaalitieto	NAME KUVATTAVAN OSAN MUKAAN
1004 Mittapisteet	LAYOUT_POINT
1050 ET näyte / havainto	NAME = KUVATTAVAN NÄYTTEEN
1100 Piikkausrajat	PIIKKAUSRAJA

Mallin **raudoituksen** numerointi:

CLASS	NIMI	NAME (mallissa)
1100	Reunapalkin haka	HAKA
1101	Tartunta- / ankkuriteräs	TARTUNTA
1102	Reunapalkin pitkittäinen teräs	RPPi
1103	Reunapalkin poikittainen teräs	RPPo
1200	Nykyinen raudoitus	VANHA_RAUTA

## 2.5 Referenssit

Tietomallissa käytetyt referenssit ja niiden sijainti:

Pacius\_uaman pohja.dwg

Kuvaa alittavan vesistön pohjaa. Referenssin paikallinen origo pisteessä N<sub>ETRS-GK25</sub> 6670000; E<sub>ETRS-GK25</sub> 25490000.

Pacius\_rakenteet.dwg

Pintamalli rakenteiden pinnasta kolmioverkkona. Referenssin paikallinen origo pisteessä N<sub>ETRS-GK25</sub> 6670000; E<sub>ETRS-GK25</sub> 25490000.

Pacius\_tienpinta\_ilman\_keiloja.dwg

Pintamalli tien geometriasta. Referenssin paikallinen origo pisteessä N<sub>ETRS-GK25</sub> 6670000; E<sub>ETRS-GK25</sub> 25490000.

Pacius\_keilat.dwg

Pintamalli kivi keilojen geometriasta. Referenssin paikallinen origo pisteessä N<sub>ETRS-GK25</sub> 6670000; E<sub>ETRS-GK25</sub> 25490000.

Johtokartta\_pacius.dwg

Johtotiedot siltapaikalla. Referenssin paikallinen origo pisteessä N<sub>ETRS-GK25</sub> 6670000; E<sub>ETRS-GK25</sub> 25490000.

Kaukolämpöputki\_pacius.dwg

Kaukolämpöputken sijainti siltapaikalla. Referenssin paikallinen origo pisteessä N<sub>ETRS-GK25</sub> 6670000; E<sub>ETRS-GK25</sub> 25490000.

## **2.6 Muuta huomioitavaa**

Mallissa esitetyt sillan nykyiset rakenneosat on mallinnettu käyttäen alkuperäisiä suunnitelmia ja kohteen edellisen korjauksen suunnitelmia. Rakenteet on asemoitu koordinaatistoon siltapaikalta laserkeilattuun aineistoon.

## LIITE 2: LÄHTÖAINEISTOLUETTELO

**Projekti:** Paciuksenkadun silta **Projektin vaihe:** Erikoistarkastus / lähtötietojen kokoaminen

Aineisto	Otettu vastaan	Vastaan-ottaja	Lähde	Omistajan yhteystiedot	Lähdejärjestelmä	Lähde-formaatti	Aineiston päivitys	Saatavuus- ja käyttörajoitukset	Tarkkuustaso	Lopputuote
Kaukolämpöputken sijainti ja korkeusasema	26.9.2014	SNy	Helen, Risto Vesala	Risto Vesala, @helen.fi	Ei tiedossa	.tiff	12.2.1971	Projektin käyttöön	Epätarkka sijainti, korot luettavissa kuvasta	.dwg putken sijainti. Korot suoraan TS-malliin
Johtotietokartta ja kantakartta	24.9.2014	SNy	Kaupunkimittaus-osasto, Helsingin kaupunki	Vesa Nurmi, @hel.fi	ETRS-GH25, N2000. Origo: N0, E0	.dwg	24.9.2014	Maksullinen aineisto	Suuntaa-antava	.dwg, koordinaatisto siirretty mallin paikalliskoordinaatistoon, origo = N6675800 E25493700
Vesijohdon sijainti ja korko	24.9.2014	SNy	HSY, Helsingin seudun ympäristöpalvelut	09-15611 (Vaihte)	N2000	Puhelin-keskustelu	24.9.2014	Projektin käyttöön	Epäluotettava	TS-malli, vesijohdon korko ja sijainti likimääräisiä
Laserkeilattu aineisto - pistepilvi	9.9.2014	SNy	VRT Oy	Kirsi Hänninen, @vrt.fi	ETRS-GH25, N2000. Aineiston origo: N6670000, E25490000	.pts	9/2014	Projektin käyttöön	OK, kannen alapinta 20x20, muu harvemmin	.dwg kolmiopinta (VRT), tien pintamalli (A-Ins), .xml aineistoa (A-Ins)
- kolmipinnat pistepilvestä	9.9.2014	SNy	VRT Oy	Kirsi Hänninen, @vrt.fi	ETRS-GH25, N2000. Aineiston origo: N6670000, E25490000	.dwg	9/2014	Projektin käyttöön	OK, kannen alapinta 20x20, muu harvemmin. Katvealueita, toinen reunapalkki puuttuu	TS-malli, paikallinen koordinaatisto origo = N6675800 E25493700
Siltatutkattu aineisto - siltatutkauksen raportti	11.8.2014	SNy	Roadscanners Oy	Anja Leppänen, @roadscanners.fi	-	.pdf	8/2014	Projektin käyttöön	Lähteen tulkitsemaa aineistoa siltatutkauksesta	Muunnetaan .xml-muotoon, tuodaan TS-malliin solid-objektina
- siltatutkauksen tulokset kannen ylännasta	3.11.2014	SNy	Roadscanners Oy	Timo Saarenpää, @roadscanners.fi		.txt	1.11.2014	Projektin käyttöön	kannen yläpinnan korko suhteessa asfaltin pintaan	
Erikoistarkastuksen laboratorio analyysit	8.8.2014	SNy	Labroc Oy	Tomi Tolppi, @labroc.fi		.pdf	8/2014	Projektin käyttöön	OK	Tulokset TS-malliin ja .pdf muodossa korjaussuunnittelijalle
Sillan alkuperäiset suunnitelmat	3.7.2014	SNy	HKR arkisto	Anja Nylund, @hel.fi	Helsingin kaupunki, NN	.pdf	1948/1993	Saatavilla HKR arkistosta	Suunnitelmissa ristiriitoja mitoissa	TS-malli, koordinaatisto ja korko muunnos

LIITE 3: KORJAUSSUUNNITELMIEN SISÄLLÖN VERTAILUTAULUKKO

Paciuksenkadun sillan korjaus  
- korjaussuunnitelmassa esitettävät asiat

Esitettävä asia / tieto	Miten esitetty tietomallipohjaisessa suunnitelmapiirustuksessa?	Jatkotoimenpide ongelman poistamiseksi / parannusehdotus / huomiot	Välittyykö tieto ilman piirustusta?	Jatkotoimenpide ongelman poistamiseksi / parannusehdotus / huomiot
				= Tieto välittyy ilman ongelmaa
				= Tieto välittyy, mahdollisia ongelmia
				= Tieto ei välity

Yleispiirustus  
Yleistiedot

Tasokuva, sivukuva ja leikkaus	Näkymät mallista. Voidaan esittää		K	Katsottavissa mallista
Siltapaikan kartta	Ei onnistunut. TS ei tue kuvan tuomista mallipohjaiseen piirustustuotantoon	TS piirustuksen exporttaus CAD:iin ja piirustuksen viimeistely	Ei tarvetta	Malli asemoitu koordinaatistoon / voidaan esittää referenssinä esim. orthokuva siltapaikasta
Siltatyyppi	Tekstinä nimiössä		K	Katsottavissa mallista, käyttäjän tulkinta
Sillan pääosien rakennusaine	Tekstinä piirustuksessa		K	Mallissa materiaalitiedot, käyttäjän tulkinta
Piirustusluettelo, tyyppipiirustukset	Perinteinen piirustusluettelo tuotu TS piirustukseen CAD-objektina	Oman piirustuluettelopohjan luominen TS:n puolelle	Ei tarvetta	Ilman piirustuksia ei tarvetta piirustusluettelolle
Laatu-/tuotevaatimus maininta	Tekstinä piirustuksessa		K	Voidaan syöttää malliin esim. UDA-kenttään, käyttäjän tulkinta
Korkeusjärjestelmä, eroakaava N60, jos esitetty korkeuksia	Tekstinä piirustuksessa		K	Voidaan syöttää malliin esim. UDA-kenttään, käyttäjän tulkinta
Koordinaattijärjestelmä, jos esitetty koordinaattaja	Tekstinä piirustuksessa		K	Voidaan syöttää malliin esim. UDA-kenttään, käyttäjän tulkinta
Suunnittelukuorma (alkuperäinen, jos ei muuteta)	Tekstinä nimiössä		K	Voidaan syöttää malliin esim. UDA-kenttään, käyttäjän tulkinta

Sijainti, mitat ja geometria

Pohjoisnuoli	Piirretty viivana		Ei tarvetta	Malli asemoitu koordinaatistoon
Väylien päätepisteet suuntanuolin	Piirretty viivana		E	Ei voida esittää. Onko tarvetta esittää väylän tietoja?
Tie-/ratalinjan sijainti ja geometria, jos tietoja	Ei esitetty, ei tiedossa	Voidaan esittää, jos tiedossa	K	Voidaan kuvata objekteista koostuvana TSV-linjana
Paalu-/Km-luvut	Ei esitetty, ei tiedossa	Voidaan esittää, jos tiedossa	K	Voidaan kuvata objekteina TSV-linjalla
Tsv-/Kv-korot	Ei esitetty, ei tiedossa	Voidaan esittää, jos tiedossa	K	Voidaan kuvata objekteina TSV-linjalla
Risteyskulma	Ei esitetty		E	Valmista mittaa ei esitetä, voidaan tallentaa UDA-kenttään

Esitettävä asia / tieto	Miten esitetty tietomallipohjaisessa suunnitelmapiirustuksessa?	Jatkotoimenpide ongelman poistamiseksi / parannusehdotus / huomiot	Välittykö tieto ilman piirustusta?	Jatkotoimenpide ongelman poistamiseksi / parannusehdotus / huomiot
Jännemitat (vanha ja uusi, jos muutetaan)	Mittana piirustuksessa		K	Voidaan kuvata objektina
Sillan kokonaispituus (vanha ja uusi, jos muutetaan)	Mittana piirustuksessa		K	Voidaan kuvata objektina
Poikkikaltevuudet (vanha ja uusi, jos muutetaan)	Piirretty viivana		K	Voidaan kuvata objektina
Hyödyllinen leveys (vanha ja uusi, jos muutetaan)	Mittana piirustuksessa		K	Voidaan kuvata objektina
Kaistojen leveydet (vanha ja uusi, jos muutetaan)	Mittana piirustuksessa		K	Voidaan kuvata objektina

#### Vesistötiedot

Uoman pohjan pinta	Ei esitetty. Piirustukseen lisätty kolmiopinta uaman pohjasta esitystapana sekava	Voidaan piirtää viivana	K	Referenssi tai mallinnettu pinta
Veden virtaussuunta	Ei tiedossa	Voidaan piirtää viivana	K	Voidaan syöttää tarvittaessa UDA-kenttään tai mallintaa objektina
Vedenpinnan korkeudet	Esitetty korkomerkkinä		K	Mallinnetaan vedenpinta

#### Maaperä ja perustaminen

Perustamistapa	Paalut mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Paalujen / perustuksen mallinnus
Perustusten mitat ja korot	Mallinnettu allkuperäisistä suunnitelmista. Ei tarvetta esittää mittatietoa, koska ei korjaustoimenpiteitä		K	Mallinnetaan
Paalutyyppi	Paalut mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan, paalutyyppi selvennetään esim. name-kentässä

#### Rakenteet ja varusteet

Betonin vaatimukset (NCCI 2 mukaisesti)	Esitetty tekstinä		K	Rakenneosakohtaisesti materiaalivaatimukset
Betonipintojen uritus, maalaus ym.	-		K	Mallinnetaan geometria
Teräsosien pintakäsittely	Maalattavat osat kuvattu tekstinä		K	UDA-tietona
Teräsosien hitsiluokka	-		K	Hitsien mallinnus
Kannen pintarakenteet (uudet)	Esitetty tekstinä		K	Mallinnetaan geometria, materiaalitiedot
Pintavesien viemärointi	-		K	Mallinnetaan tarvittavat varusteet
Siltapaikan kuivatuslaitteet	-		K	Mallinnetaan tarvittavat varusteet
Routaeristeet	-		K	Mallinnetaan

Esitettävä asia / tieto	Miten esitetty tietomallipohjaisessa suunnitelmapiirustuksessa?	Jatkotoimenpide ongelman poistamiseksi / parannusehdotus / huomiot	Välittykö tieto ilman piirustusta?	Jatkotoimenpide ongelman poistamiseksi / parannusehdotus / huomiot
Liikuntasaumalaitteet liikevaroineen (uudet)	-		K	Mallinnetaan LS-laite, liikevara esim. UDA-tietona
Kaiteiden tyyppi (uudet)	Esitetty tekstinä		K	Mallinnetaan geometria, tarkka tyyppi UDA-tietona
Kaiteiden jatkokset ja liikevarat	Esitetty paikka ja vaadittu liikevara		K/E	Kirjataan kaiteen UDA-tietona, geometrian mallinnus ei ole järkevää
Kaiteen siirtymärakenne	Esitetty paikka ja vaadittu rakenne tekstinä		K	Mallinnetaan geometria
Keilat ja luiskat: muoto ja verhoukset (jos toimenpiteitä)	Esitety tasokuvassa ja viitattu korjaustoimenpiteellä	Kolmioverkko ei ole havainnollinen keilan muodon kuvaamiseksi. Perinteisessä piirustuksessa viivalla kuvaavampi esitystapa	K	Mallinnetaan geometria
Siltaan sijoitettavat johdot, putket ym., nykyiset kaapelit, jos tiedossa	Mallinnettu lähtötietojen perusteella ja sijainnit esitetty piirustuksessa		K	Mallinnetaan geometria ja sijainti

#### Korjaustoimenpiteet

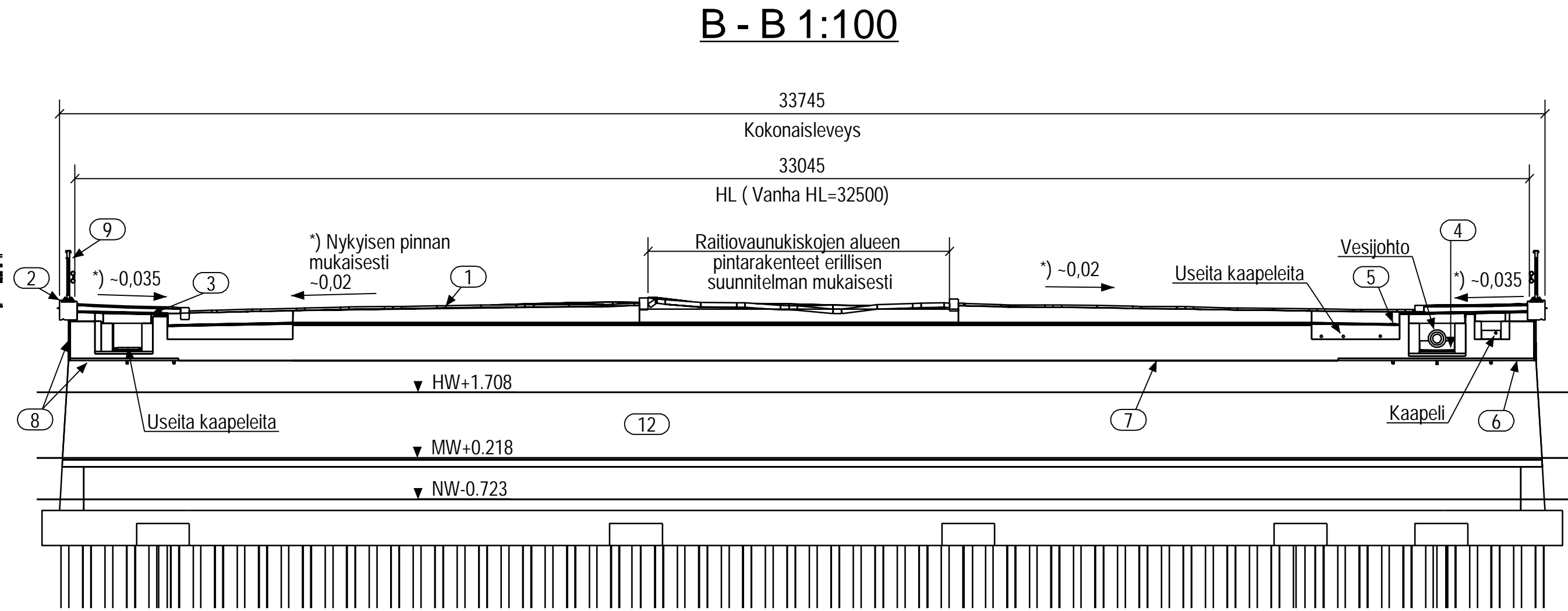
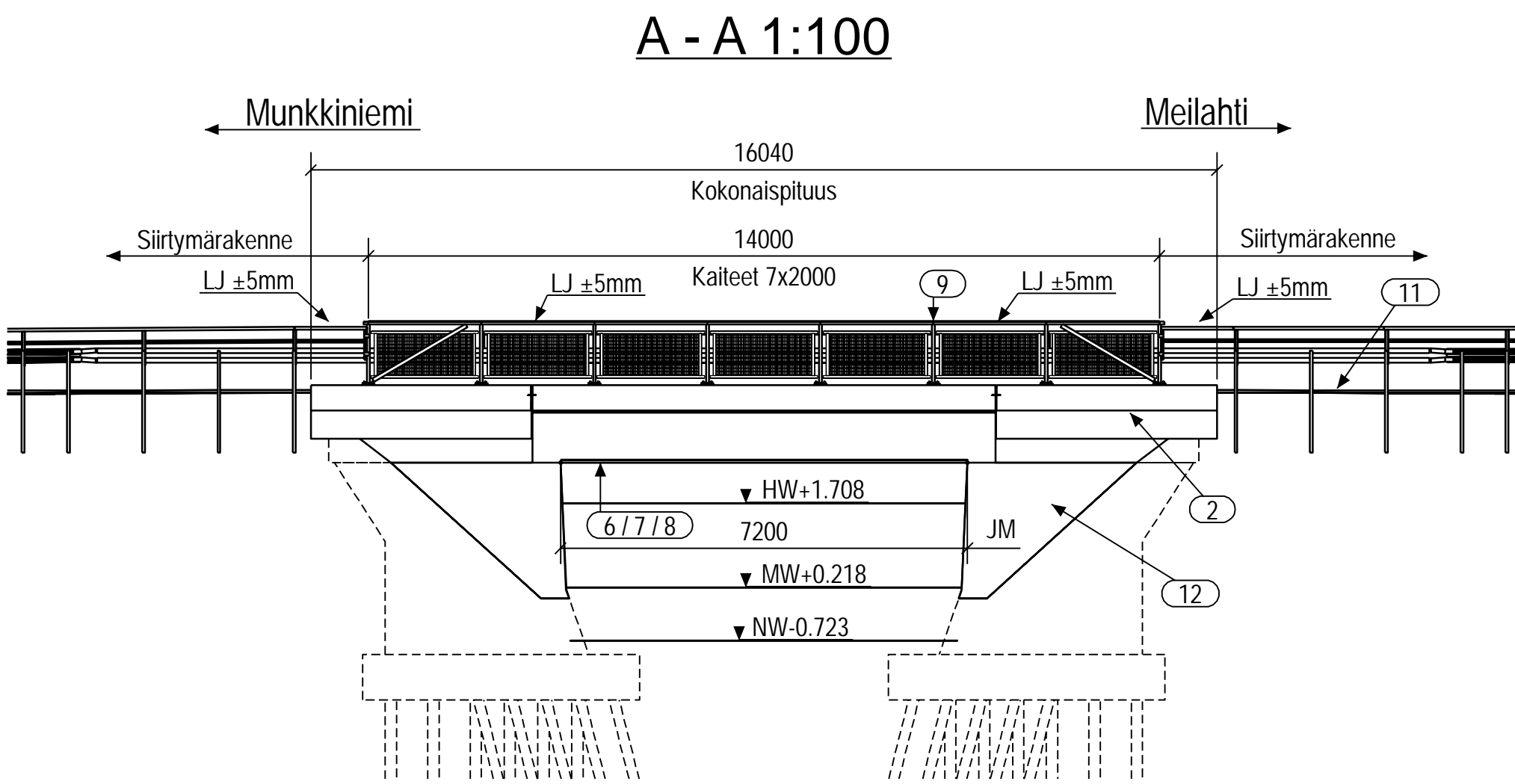
Korjaustoimenpiteet positionumeroin esitettynä	Toimenpiteet kuvattu tekstinä. Merkitty piirustuksiin leaderin ja tekstin avulla		K	Esitetään esim. Phase-numeroinnin avulla
Tulopenkereen päällystämisen ulottuma	Kuvattu tekstinä		K	Mallinnetaan geometria
Pengerkaiteiden korjauksen / uusimisen ulottuma	Kuvattu tekstinä		K	Mallinnetaan geometria

#### Betonirakenteiden korjauspiirustus

Purettavat rakenteet ja purkurajat	Geometria mallinnettu		K	Erotellaan esim. omalle Phaselle
Uusien rakenteiden mitat	Mitat esitetty		K	Mallinnetaan geometria
Betonin vaatimukset (NCCI mukaisesti)	2 Kuvattu yleistekstinä ja rakenneosakohtaisena tekstinä		K	Mallinnetaan objektin ominaisuutena
Betonipintojen pintakäsittelyt, eristykset, verhoilut, ruiskubetonoinnit ym. selkeästi eriteltynä	Geometria mallinnettu ja tarkennettu tekstiviittauksella		K	Mallinnetaan erillinen kerros, pintakäsittelyn mallintaminen (toiminrossa rajoituksia)
Betonipinnan laatuluokka	Kuvattu tekstinä		K	UDA-tietona
Suunnitellut työsaumat	Piirretty työsaumaa kuvaava viiva		K	Mallinnetaan työsaman rajapinta / käytetään objektien välissä "työsaumatyökalua"
Pintavesi-, tippu- ja pain.tas.putket, kanavoinnit kiinnikkeet ym.	Mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan geometria ja sijainti. UDA-kenttään tyyppiirustusviittaus
Kaidepylväiden sijainnit	Mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan sijainti ja geometria

<b>Esitettävä asia / tieto</b>	<b>Miten esitetty tietomallipohjaisessa suunnitelmapiirustuksessa?</b>	<b>Jatkotoimenpide ongelman poistamiseksi / parannusehdotus / huomiot</b>	<b>Välittykö tieto ilman piirustusta?</b>	<b>Jatkotoimenpide ongelman poistamiseksi / parannusehdotus / huomiot</b>
Kannen pintarakenteet yksilöitynä	Mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan geometria, teknisessä toteutuksessa haasteita
Reunojen ja päätyjen detaljit, joissa esitetään myös saumaukset	Osittain mallinnettu, kuvattu piirrettyillä viivoilla		K	Mallinnetaan geometria. Kaivujen ja täyttöjen mallinnus työlästä
Säilytettävät ankkurointiteräket	---		K	Mallinnetaan nykyiset teräket
Piikkausrajat	Piikkausraja mallinnettu ja esitetty piirustuksissa	Purkurajan viivatyyppiä ei pääse muokkaamaan riittävästi. Purkuraja ei ole havainnollinen piirustuksissa	K	Mallinnetaan rajapintaan geometria
Uudet ankkurointiteräket	Mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan raudoitukset, porareikien mallinnuksessa teknisiä haasteita
Ankkuroinnin vaatimukset	Tekstinä suunnitelmassa		K	UDA-tietona tai ankkurointimassan valmistajan komponenttina
Terästen tunnus ja sijoitus rakenteeseen	Mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan raudoitukset
Terästen laatu	Tekstinä suunnitelmassa		K	Mallinnetaan raudoitukset, tieto materiaaliominaisuutena
Terästen lukumäärät, halkaisijat ja keskiövälit	Mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan raudoitukset, tulkittavissa mallista / raudoitusluettelosta
Terästen taivutusmitat ja katkaisupituudet	Mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan raudoitukset, tulkittavissa mallista / raudoitusluettelosta
Terästen jatkospituudet	Mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan raudoitukset, käyttäjän tulkinta mallista
Terästen kokonaismäärä määräävissä leikkauksissa	Mallinnettu ja esitetty piirustuksissa		K	Mallinnetaan raudoitukset, tulkittavissa mallista
Betonipeite	Tekstinä suunnitelmassa		K	Mallinnetaan raudoitukset, tulkittavissa mallista. Työlästä jos betonipeitevaatimuksissa eroavaisuutta eri rakenneosissa
Maininta muotoiluvalusta	Geometria mallinnettu ja tarkennettu tekstiviittauksella		K	Mallinnetaan geometria, objektin materiaaliominaisuudet
Nurkkien viistäminen	Tekstinä suunnitelmassa	Geometriassa ei viisteitä, vaikutus raudoitukseen	K/E	Voidaan mallintaa, työlästä ja vaikuttaa raudoituksen mallintamiseen
Eristysalustan käsittely	Tekstinä suunnitelmassa		K/E	Vedeneristeen UDA-tietoihin, ei järkevää mallintaa omana kerroksenaan





**KAITEEN RAKENNE SILLAN ULKOPUOLELLA:**

**KAITEEN SIIRTYMÄRAKENNE (R15/DK H2-8D):**

- Tiekaiteen pylväsvali 1,33m 4,0m:n matkalla (2-putkijohde)
- Silta- ja tiekaiteen liitos 1,0...1,3m
- Tiekaiteen pylväsvali 1,0m 12,8m:n matkalla, ensimmäinen vali 0,8m (tiejohde N2 W230)

**LISÄKSI sillan eteläreunalla, ajosuunnassa ennen siltaa:**

- Tiekaiteen pylväsvali 2,0m 12,0m:n matkalla (tiejohde 230/4)
- Tiekaiteen pylväsvali 4,0m 8,0m matkalla (tiejohde 230/4)
- Kaiteen alkuvuiste 12,0 m matkalla

**LISÄKSI sillan eteläreunalla, ajosuunnassa sillan jälkeen:**

- Tiekaiteen pylväsvali 2,0m 6,0m:n matkalla (tiejohde 230/4)
- Kaiteen loppuvuiste 12,0 m matkalla

**LISÄKSI sillan pohjoisreunalla:**

- Tiekaiteen pylväsvali 2,0m 2,0m:n matkalla (tiejohde 230/4)
- Kaiteen alku- / loppuvuiste 12,0 m matkalla

Mitat sillalta pois päin, viimeisestä kaidepylvästä lukien

**KOROTETUN KAITEEN RAKENNE SILLAN ULKOPUOLELLA:**

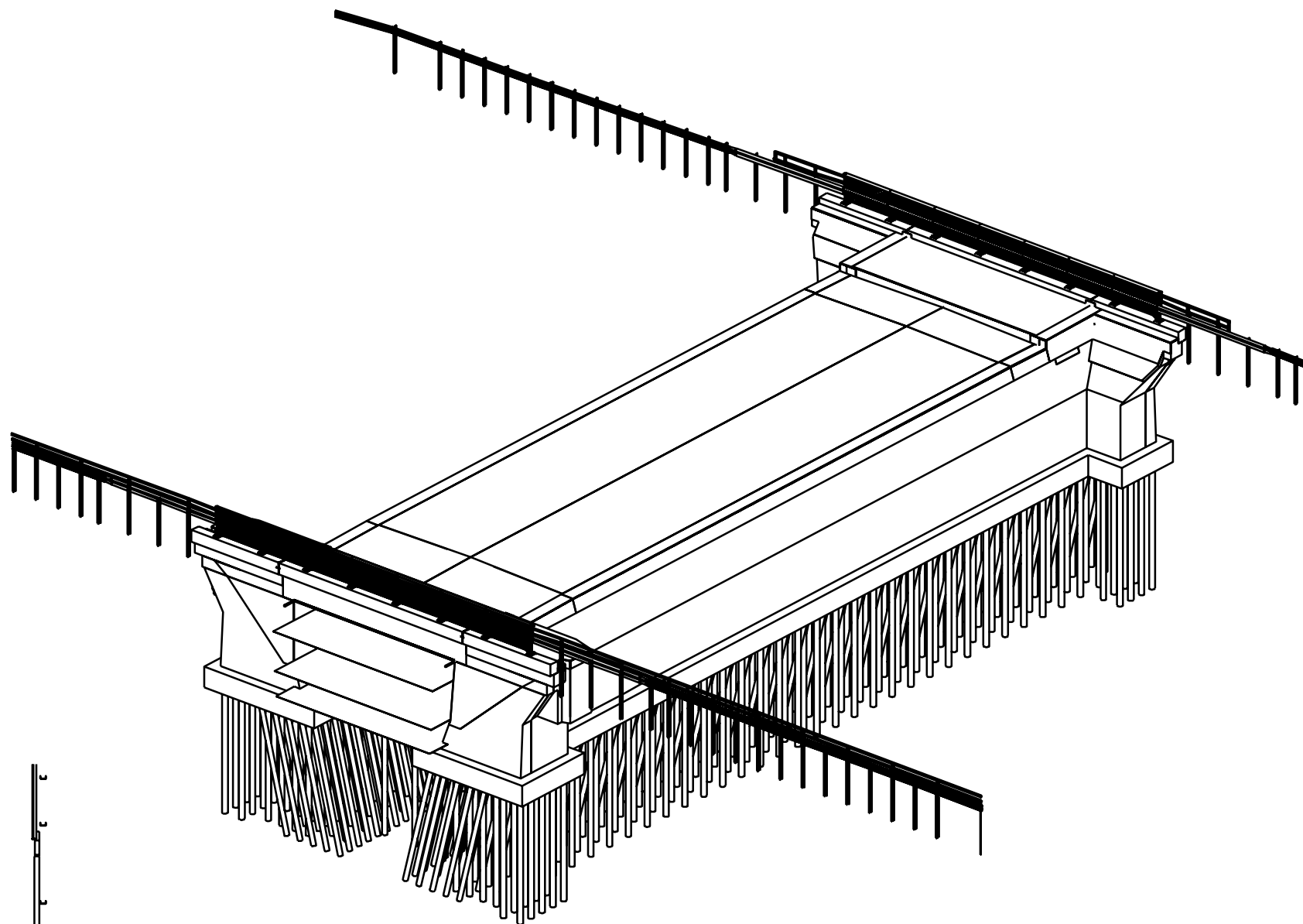
Sillan eteläreunalla:

- Tiekaiteen matkalla

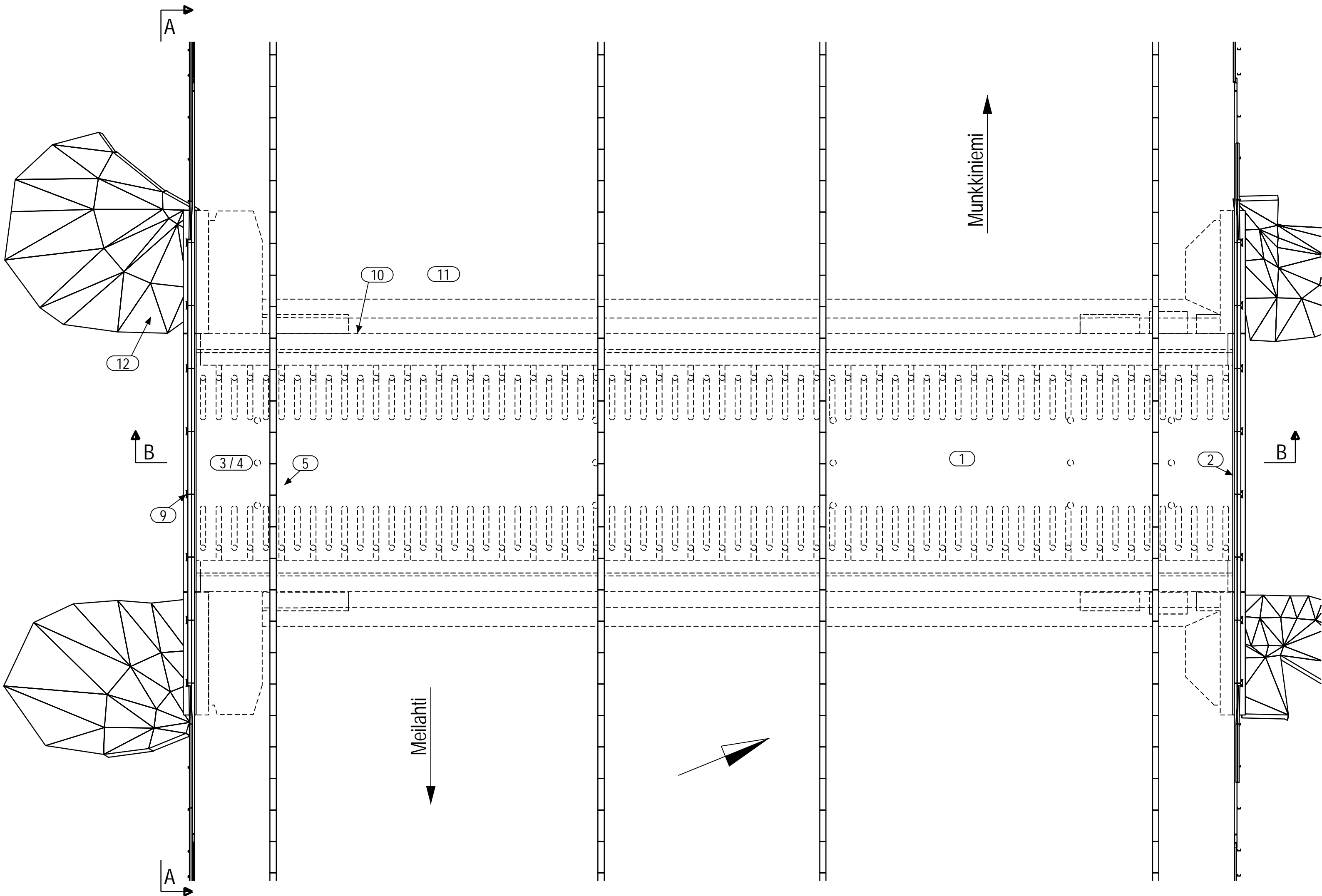
Sillan pohjoisreunalla:

- Tiekaiteen kahteen ensimmäiseen pylvääseen

**3D Havainnekuva**



**Tasokuva 1:100**



**KORJAUSTYÖT:**

- Pintarakenteet uusitaan ja kansilaatan irtonainen muotoiluvalu uusitaan
- Reunapalkit uusitaan
- Kannen reunojen elementtikannet saumataan
- Kannen reunojen kaapeli- ja putkikanavien pohjille tehdään tippuputket, pohjat muotoillaan ja vedeneristetään
- Kannen tippuputket ja kanavointi uusitaan
- Kannen ala- ja pystypinnat ruiskubetonoidaan kannen reunoilla
- Kannen alapinnan yksittäiset vauriot paikataan kannen keskialueella
- Kannen kaikki näkyvät betonipinnat pinnoitetaan
- Kaiteet uusitaan sillalla ja sillapaikalla nykyisen pengerkaiteen matkalla
- Sillan päihin tehdään vedeneristeen liikuntasaumot
- Tulopenkereen päällyste uusitaan 10m matkalla sillan päistä
- Keilat siistitään, kaikkien kivirakenteiden vaurioituneet saumatukset uusitaan ja rakenteet puhdistetaan toherryksistä ja valumajäljistä

**BETONI:**

Siipimuri	Ro10, R1	C30/37-3, P30	c/nom = 45 mm
Muotoiluvalu	Ro20, R1	C30/37-3, P30	c/nom = 40 mm
Ruiskubetoni	Ro21, R1	C30/37-3, P30	c/nom = 45 mm
Reunapalkki	Ro22, R1	C35/45-3, P50	c/nom = 45 mm

Reunapalkin geeli-impregointi

**BETONITERÄS:** A500HW

Betonipintojen laatu luokat (by 40 mukaisesti), paikalla valetut pinnat:

AA	Reunapalkin yläpinta ja eristettävät pinnat (PHI)
A	Näkyviin jäävät pinnat (MUO JA MUK)
C	Näkymättömiin jäävät pinnat (MUO JA MUK)

Suorat ja terävät nurkat viistetään 20x20mm kolmiorimalla

**PINTARAKENNE, AJORATA:**

Asfalttibetoni	AB 16/120	50 mm
Asfalttibetoni	AB 16	250...470 mm
Suojakerros	AA 5/50	20 mm
Pintakermi (kl.1)		5 mm
Aluskermi (kl.1)		5 mm
Epokstiivistys		330...550 mm

**PINTARAKENNE, KEVYEN LIIKENTEEN VÄYLÄ:**

Asfalttibetoni	AB 11/100	40 mm
Asfalttibetoni	AB 16	100...125 mm
Suojakerros	AA 5/50	20 mm
Pintakermi (kl.1)		5 mm
Aluskermi (kl.1)		5 mm
Epokstiivistys		170...195 mm

**KAIDE:** CE-merkitty (EN 1317-2) törmäysluokan H2 teräksinen verkkokaide, joka täyttää Siltojen kaiteet-ohjeen (LO 25/ 2012) vaatimukset. Suunnitelma on täydennettävä toimitettavan kaiteen valmistajan vaatimusten mukaiseksi ennen sillan rakentamista. Kaide varustetaan korkealla suojaverkolla, kiipeilyesteellä ja hattumuttereilla.

Kermieristysten käyttöluokka 1

Sillanrakennustöissä noudatettava InfraRYL:n ja SILKO:n mukaisia laatuvaatimuksia

KORKEUSJÄRJESTELMÄ: N2000

KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ: ETRS-GK25

**HELSINGIN KAUPUNKI  
RAKENNUSVIRASTO**

**Katu- ja puisto-osasto**  
PL 1516, Kasarmikatu 21  
00099 HELSINGIN KAUPUNKI

p. (09) 310 1661 f. (09) 310 38328  
www.hki.fi  
e-posti: etunimi.sukunimi@hel.fi

KAUP. OSA, OSA-ALLUE  
202 Munkkiniemi, Vanha Munkkiniemi

**U-1367 PACIUKSENKADUN SILTA**  
Teräsbetoninen laattasilta

Korjauksen yleispiirustus

MK:  
1:100  
1:200

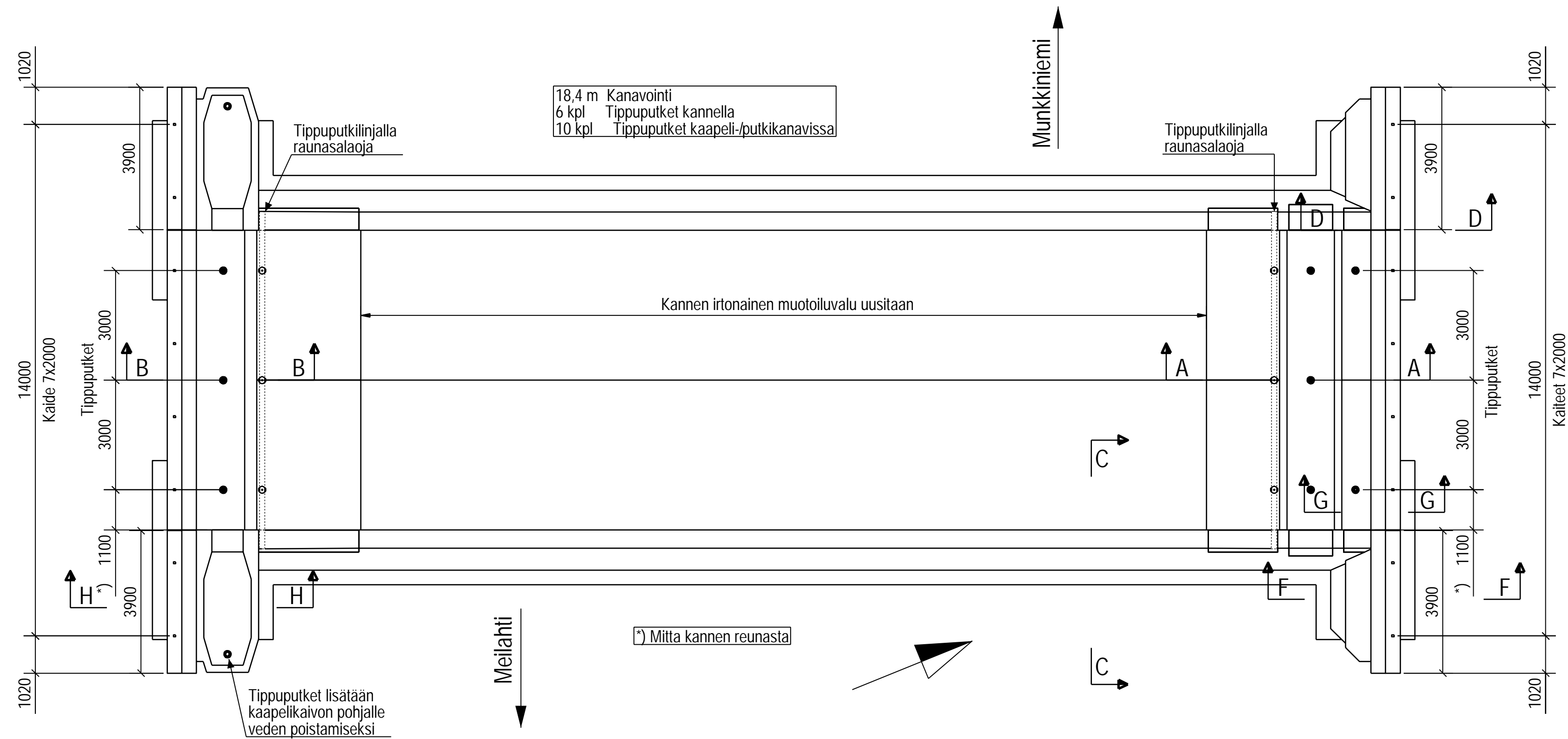
LITTYY	NRO	R15/27157 r-10	KHS		
KORVAA			YTLK		
KORVATTU		TASOKOORDINAATIO: ETRS-GK25	HYV.		
ASEMAKAAVA		KORKEUSJÄRJESTELMÄ: N2000	TARK.		
LIKENNES.			LAAT.		

**A-INSINÖÖRIT**

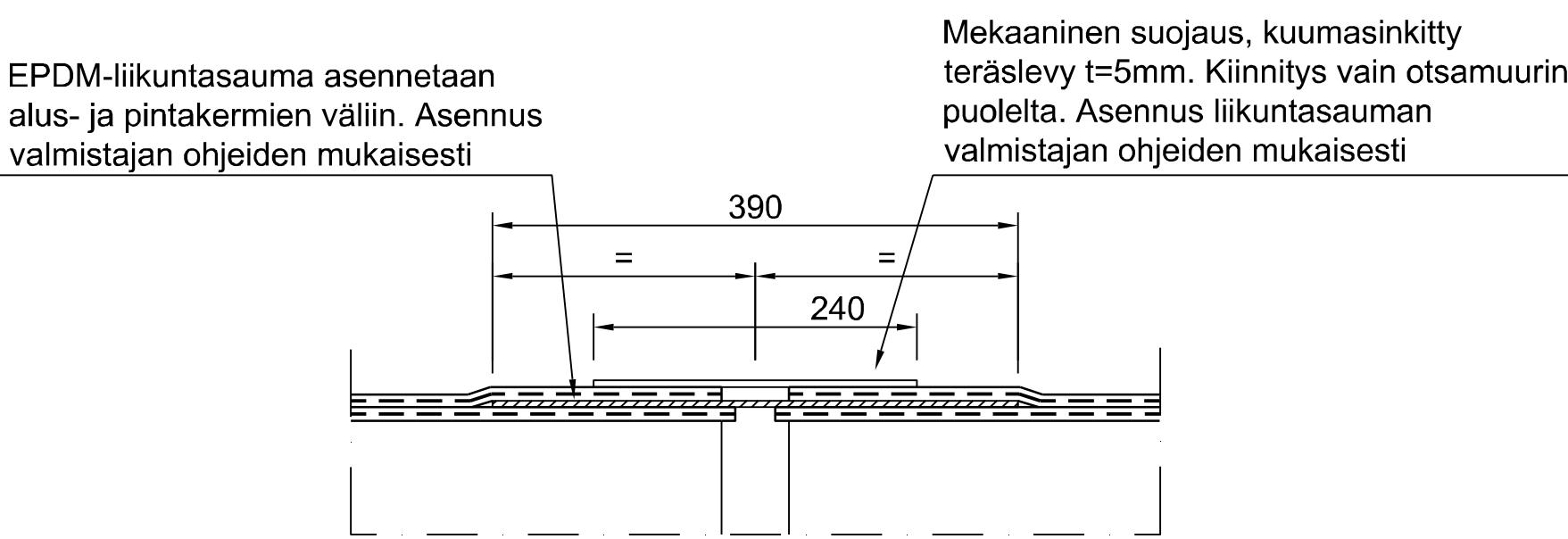
A-insinööri Suunnittelu Oy  
Sotkumunkku 23A  
33210 Tampere  
Puh. 0207 911 777  
Fak. 0207 911 778  
etunimi.sukunimi@ains.fi

HYV.		
TARK.		
LAAT.		Simo Nykänen

Tasokuva 1:100

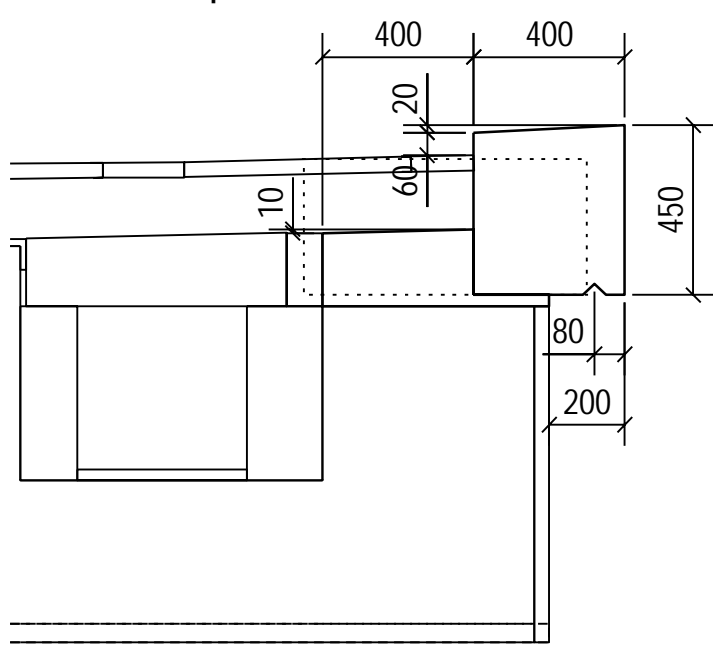


DET A 1:5

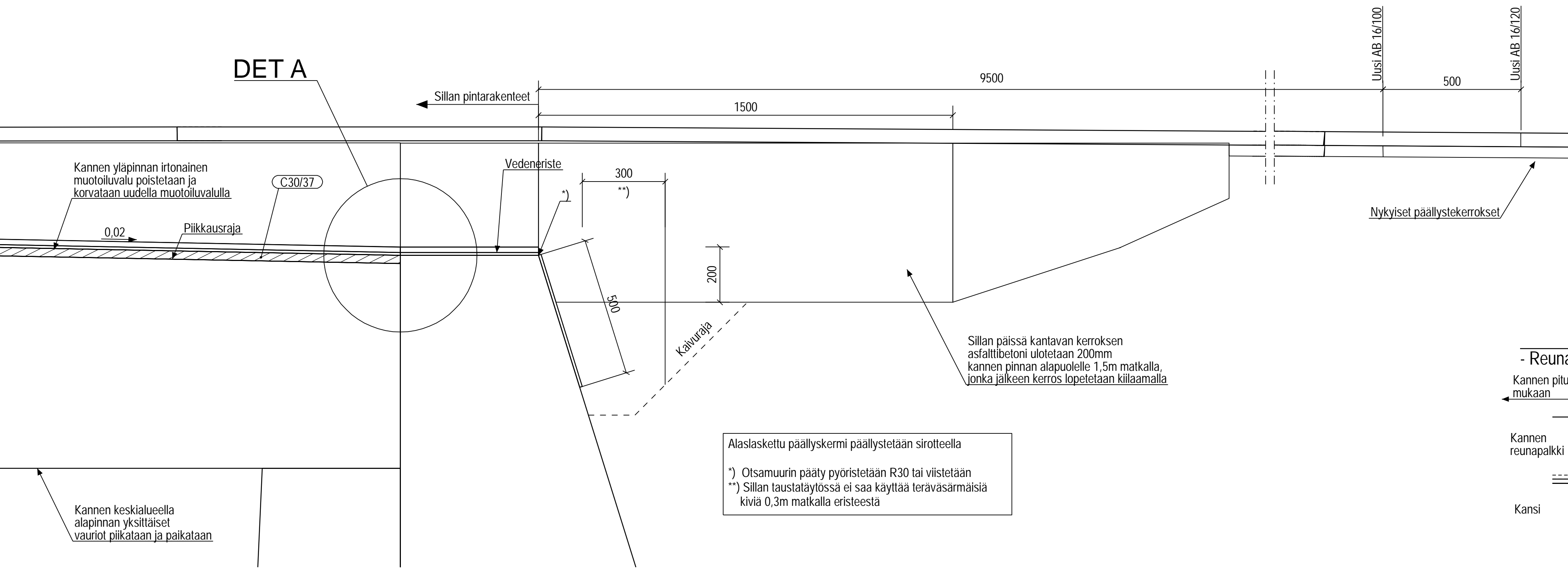


G - G 1:20

- Reunapalkin mitoitus kannella

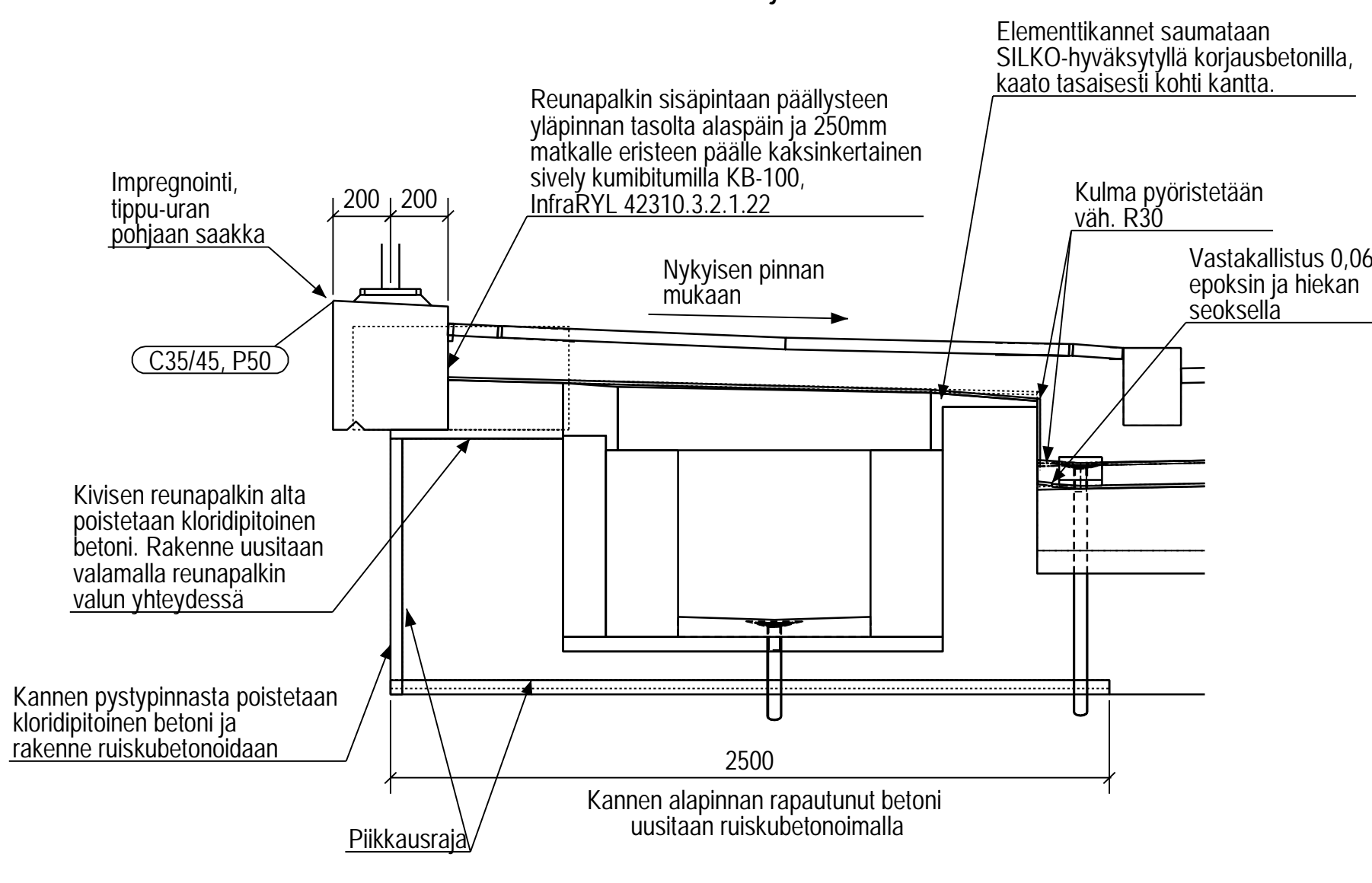


C - C 1:10



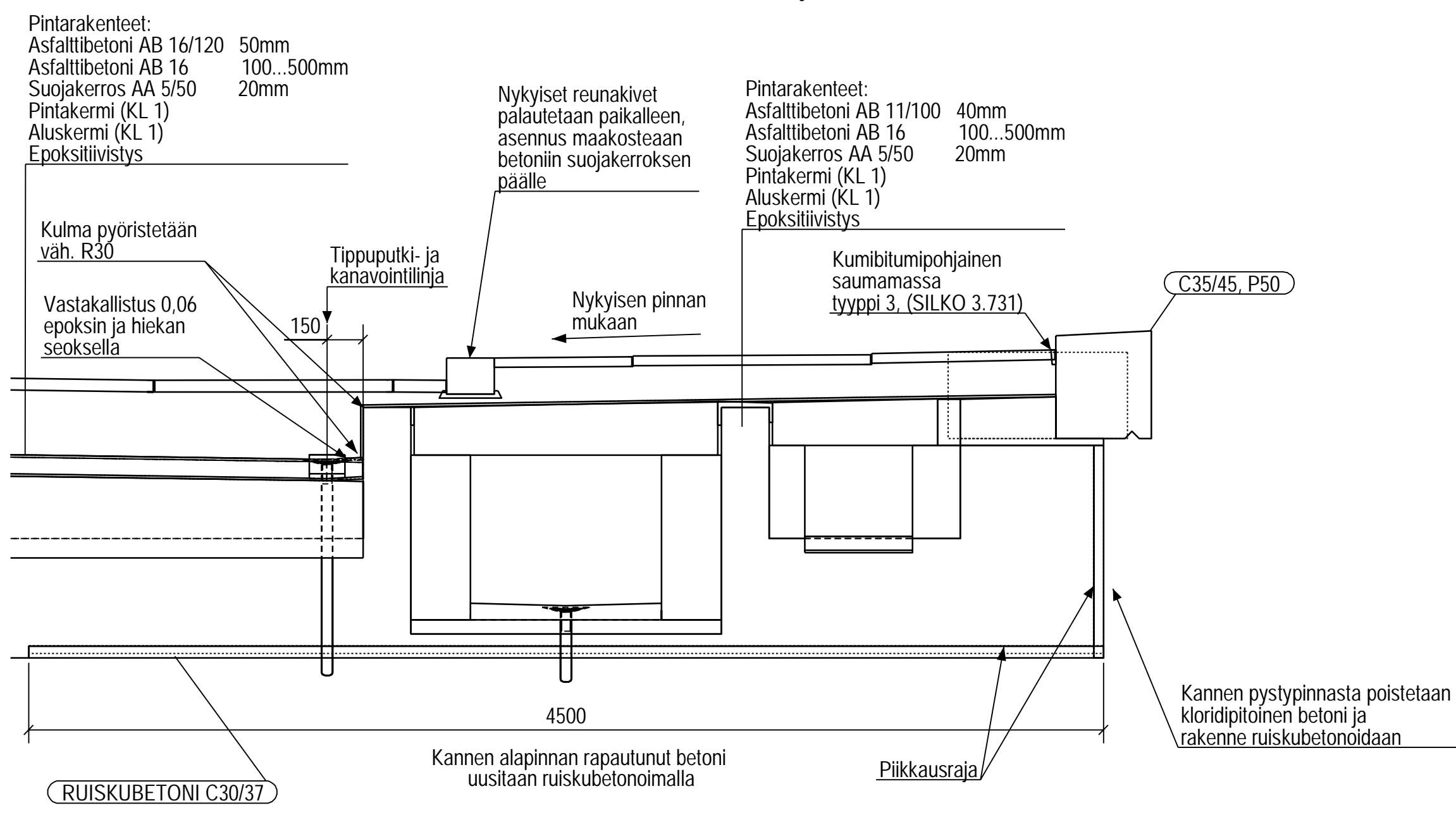
B - B 1:20

- Reunadetalji



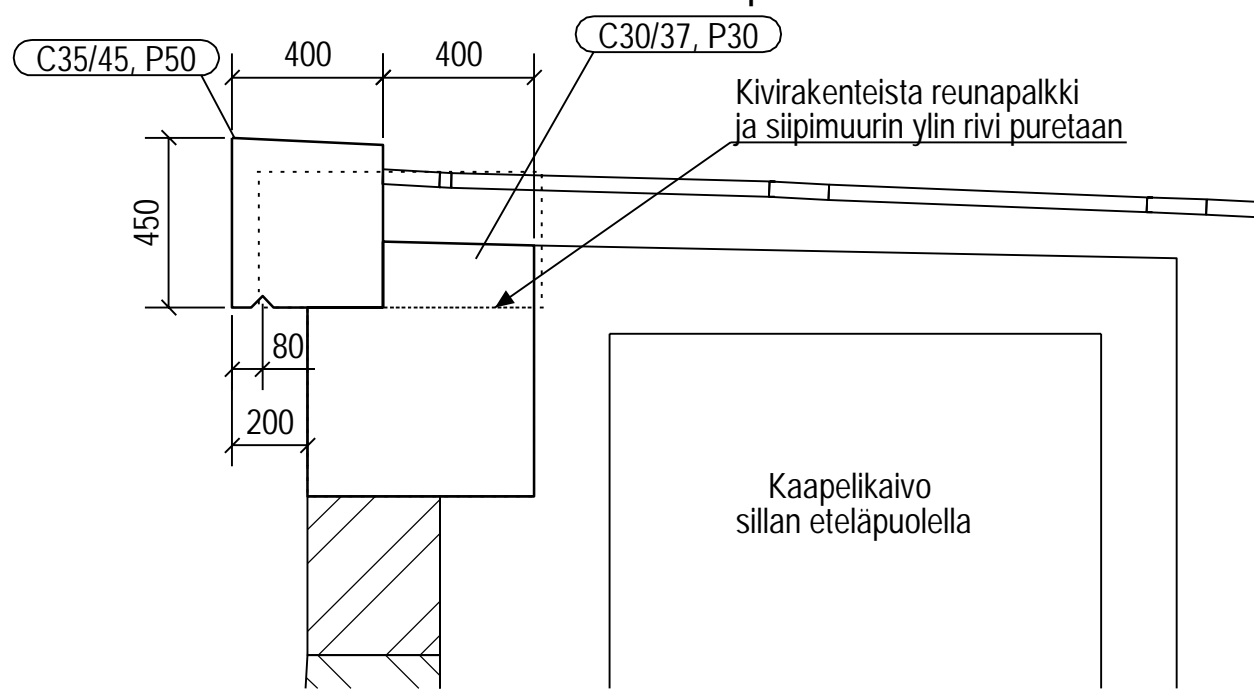
A - A 1:20

- Reunadetalji



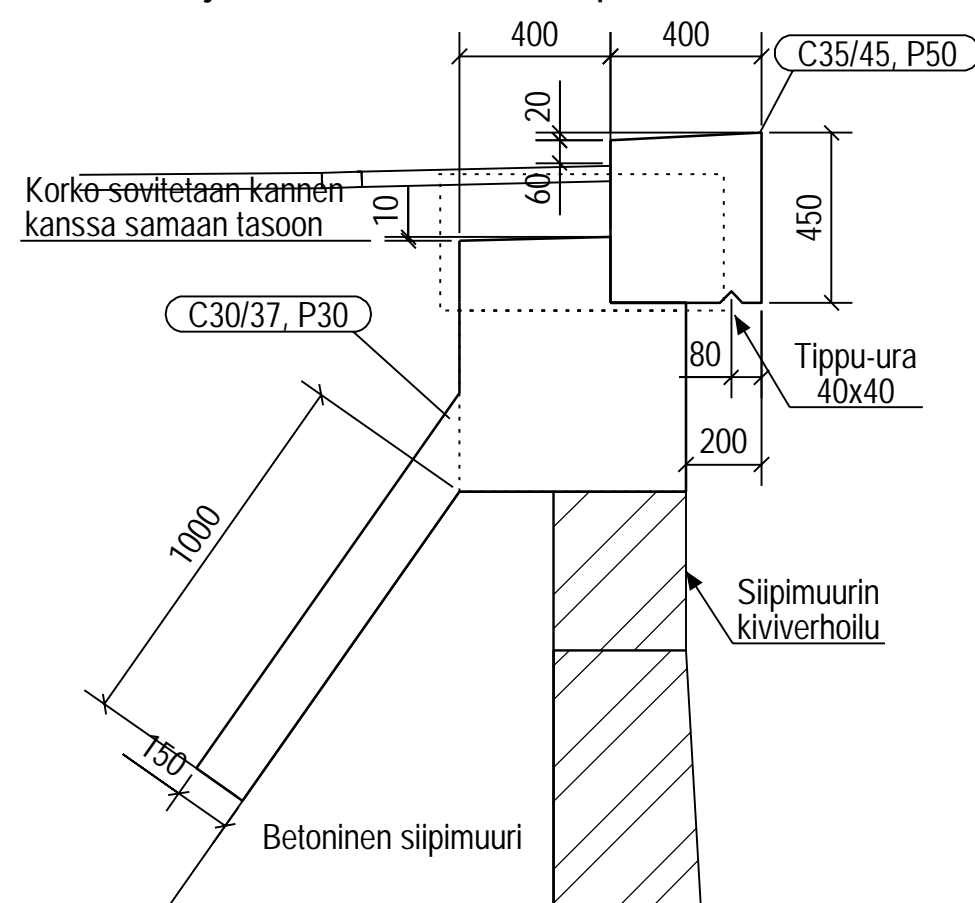
H - H 1:20

- Eteläisen maatuen reunapalkin mitoitus



F - F 1:20

- Pohjoisen maatuen reunapalkin mitoitus



BETONI:  
Siipimuri Ro10, R1 C30/37-3, P30 c/nom = 45 mm  
Muotoiluvalu Ro20, R1 C30/37-3, P30 c/nom = 40 mm  
Ruiskubetoni Ro21, R1 C30/37-3, P30 c/nom = 45 mm  
Reunapalkki Ro22, R1 C35/45-3, P50 c/nom = 45 mm  
Reunapalkin geeli-impregnointi

BETONITERAS: A500HW

Betonipintojen laatuiluokat (by 40 mukaisesti),

paikalla valetut pinnat:

AA Reunapalkin yläpinta ja eristettävät pinnat (PHI)  
A Näkyviin jäävät pinnat (MUO JA MUK)  
C Näkymättömiin jäävät pinnat (MUO JA MUK)

Suorat ja terävät nurkat viistetään 20x20mm kolmiorimalla

PINTARAKENNE, AJORATA:

Asfalttibetoni AB 16/120 50 mm  
Asfalttibetoni AB 16 250...470 mm  
Suojakerros AA 5/50 20 mm  
Pintakermi (kl.1) 5 mm  
Aluskermi (kl.1) 5 mm  
Epoksiitivistys Yhteensä 330...550 mm

PINTARAKENNE, KEVYEN LIIKENTEEN VÄYLÄ:

Asfalttibetoni AB 11/100 40 mm  
Asfalttibetoni AB 16 100...125 mm  
Suojakerros AA 5/50 20 mm  
Pintakermi (kl.1) 5 mm  
Aluskermi (kl.1) 5 mm  
Epoksiitivistys Yhteensä 170...195 mm

KAIDE: CE-merkitty (EN 1317-2) törmäysluokan H2 teräksinen verkkokaide, joka täyttää Siltojen kaiteet-ohjeen (LO 25/ 2012) vaatimukset. Suunnitelma on täydennettävä toimitettavan kaiteen valmistajan vaatimusten mukaisesti ennen sillan rakentamista. Kaide varustetaan korkealla suojaverkolla, kiipeilyesteellä ja hattumuttereilla.

Kermieristysten käyttöluokka 1

Sillanrakennustoissa noudatettava InfraRYL:n ja SILKO:n mukaisia laatuvaatimuksia

KORKEUSJÄRJESTELMÄ: N2000

KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ: ETRS-GK25

KAUP OSA, OSA-ALUE  
202 Munkkiniemi, Vanha Munkkiniemi

HELSEINGIN KAUPUNKI  
RAKENNUSVIRASTO

Katu- ja puisto-osasto  
PL 1515, Kasarminkatu 21  
00098 HELSINGIN KAUPUNKI

p. (09) 310 1661 f. (09) 310 38328  
www.hel.fi  
e-posti: etunimi.sukunimi@hel.fi

U-1367 PACIUKSENKADUN SILTA  
Teräsbetoninen laattasilta

Korjauspiirustus 1

MK 1:10  
1:20  
1:100

LIITTYVÄ  
KORVAA  
KORVATTU  
ASEMAKAAVA  
LIKENNES.

NRO R15/27157  
r-11  
TASOKOORDINAATISTO:  
ETRS-GK25  
KORKEUSJÄRJESTELMÄ:  
N2000

KHS  
YTLK  
HYV.  
TARK.  
LAAT.  
HYV.  
TARK.  
LAAT.

A-insinööri Suunnittelu Oy  
Satakunnankatu 23A  
33210 Tampere  
Puh.0207 911 777  
Fax.0207 911 778  
www.suunnittelu.fi

A-INSINOORI  
Simo Nykanen

Technical drawing of a mechanical assembly in cross-section. The drawing shows a shaft with a central hole and a keyway, and a housing with a corresponding keyway. The drawing includes dimension lines labeled A, B, C, and D, indicating various measurements and tolerances.

Kansielementit saumataan Silko/hyv'ksytyll' valettavalla korjausbetonilla, SILKO 3.211

Sauman pohjalle saumanauha

Vedeneristeen liikentasauman alla otsamuurin yläpinta tasataan kannen tasolle muotoiluvalulla

Vedeneristeen EPDM-liikuntasauma Flex-Joint tai vast.

DET A

Kaapelikaivon pohjalle lisätään tippuputki

1/200

1/200

Kanavan pohja muotoillaan uudella muotoiluvalulla

Nykyinen muotoiluvalu voidaan säilyttää, jos sen kunto täyttää työselityksen vaatimukset

Vedeneristeen EPDM-liikuntasauma, Flex-Joint tai vast.

Kanavien päistä poistetaan kevytsoraharkkoseinämä

1/200

1/200

F

F

Otsamuurien kolot kaapeli-kanavien kohdilla valetaan tarvittaessa umpeen, valun yläpinta kannen tai kansielementtien tasolle. Rauditus erillisen suunnitelman mukaisesti

Vedeneristeen EPDM-liikuntasauva Flex-Joint tai vast.

Kanavien päistä poistetaan kevytsoraharkkoseinämä

Otsamuurin kolot kaapelikanavien kohdilla valetaan tarvittaessa umpeen, valun yläpinta kannen tai kansilementtien tasolle. Raudoitus erillisen suunnitelman mukaisesti

Nykyinen kallistus

1/35

1/35

Vedeneristeen päälle  
250mm matkalle  
ja 130mm pystypinnalle  
kaksinkertainen sively  
kumibitumilla KB-100,  
InfraRYL 42310.3.2

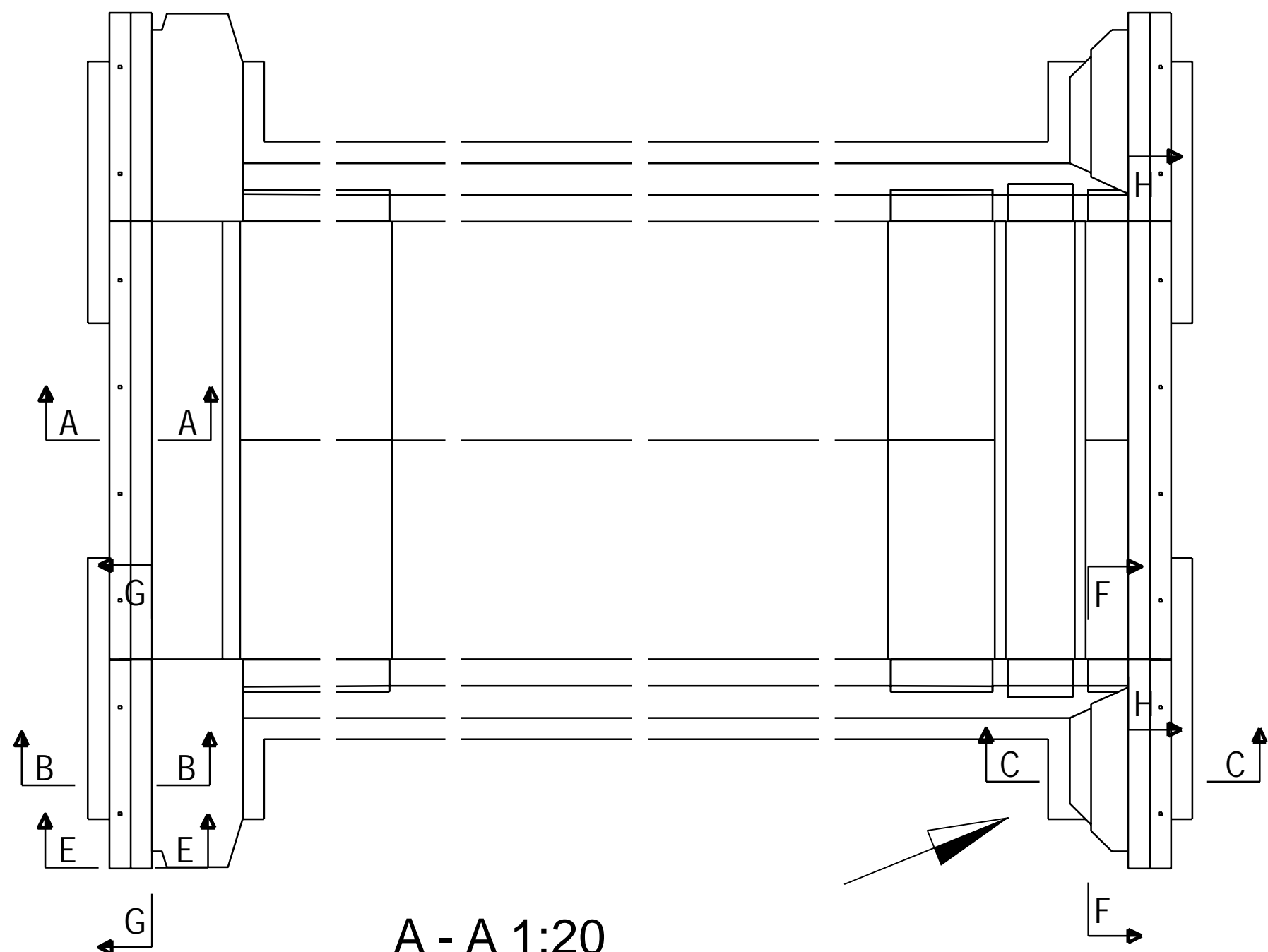
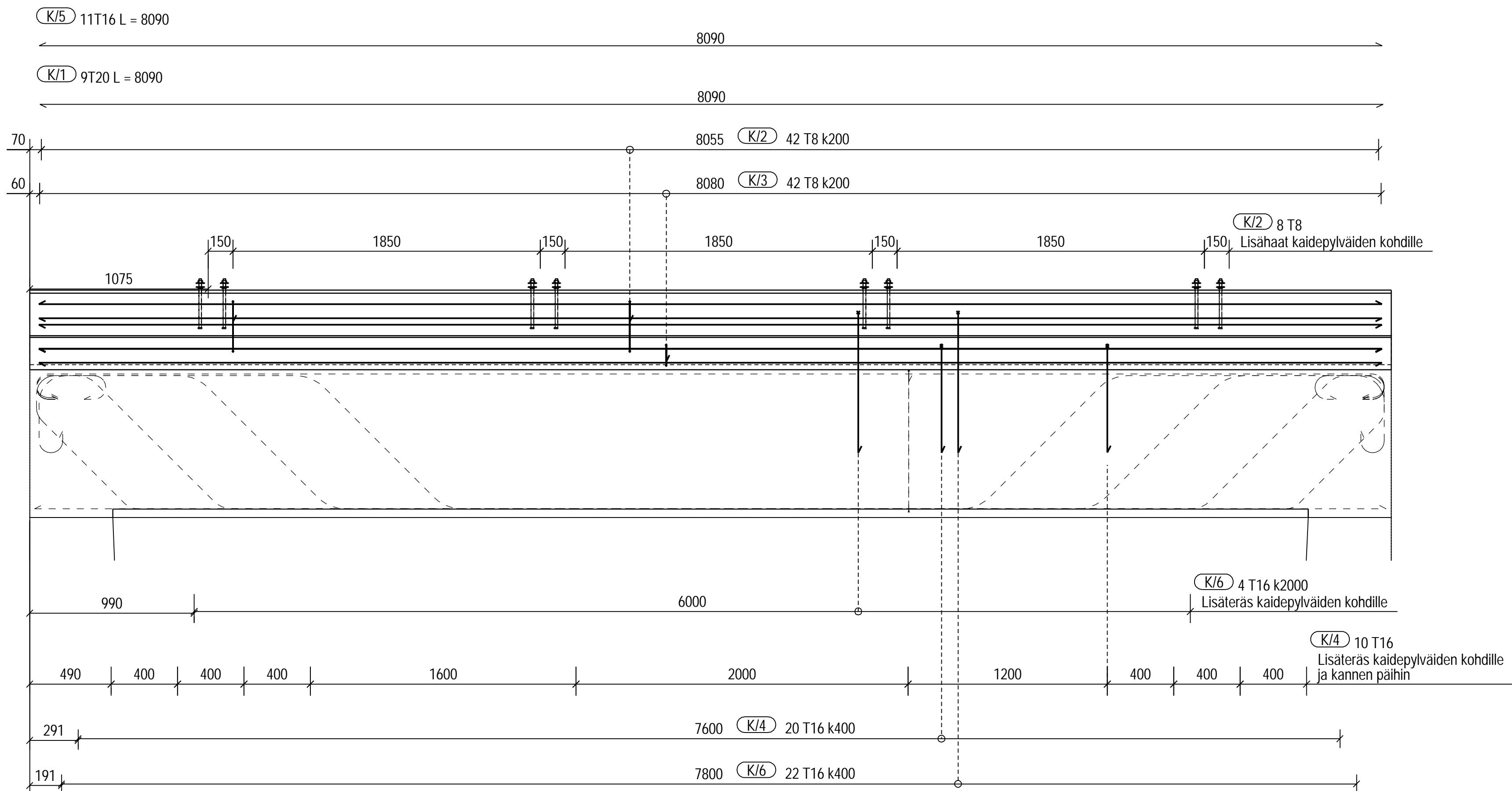
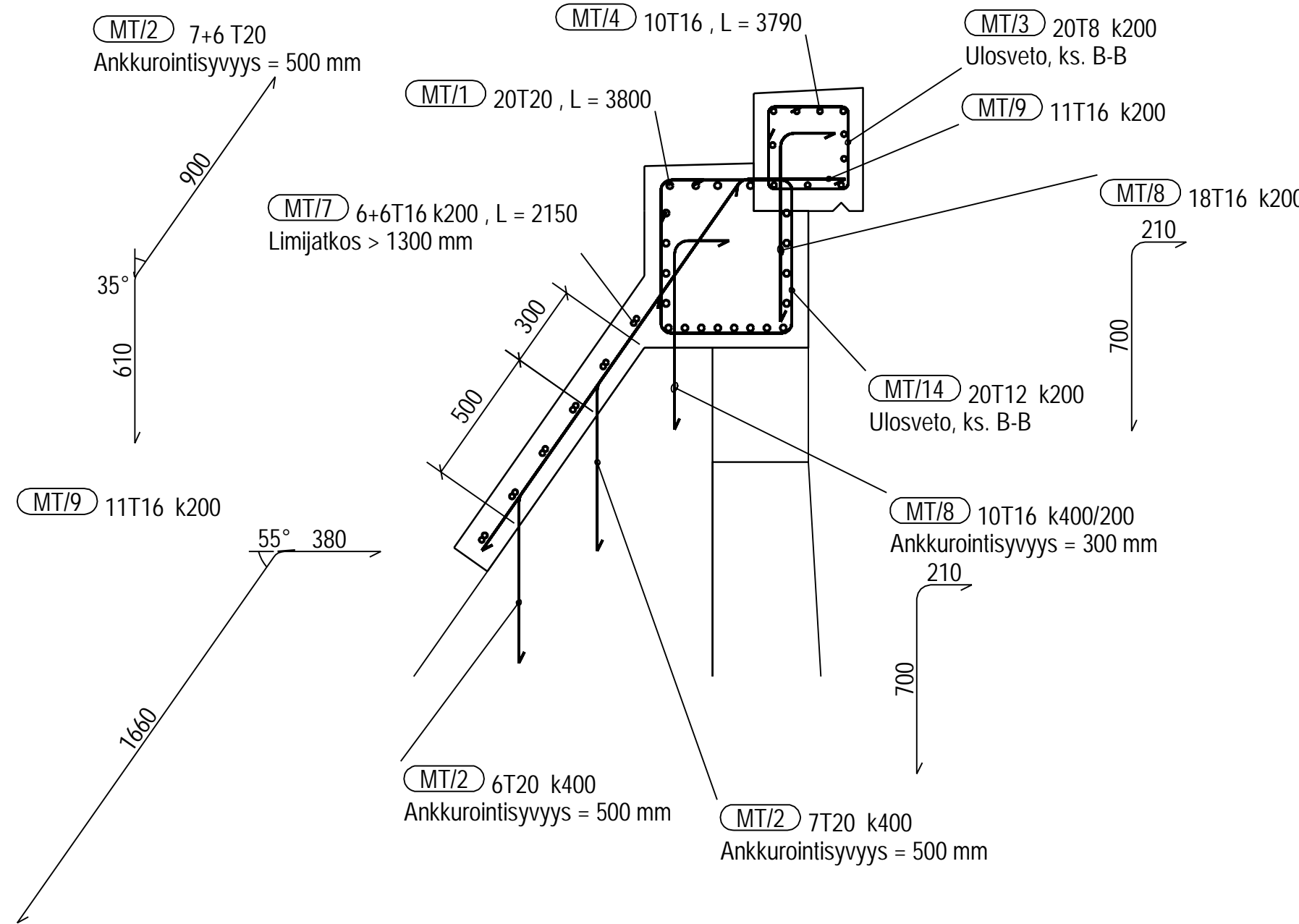
130

1/30 1/30

Yksinkertainen  
kermieristys

 <b>HELSINGIN KAUPUNKI</b> <b>RAKENNUSVIRASTO</b>		<b>Katu- ja puisto-osasto</b> PL 10151, Kasarmutie 21 00099 HELSINGIN KAUPUNKI		p. (09) 310 3361 f. (09) 310 3838 www.hel.fi s-posti: etunimi.sukunimi@hel.fi	
KAUP. OSA, OSA-ALUE 202 Munkkiniemi, Vanha Munkkiniemi					
<b>U-1367 PACIUKSENKATU SILTA</b> Teräsbetoninen laattasilta					
Korjausrakennus 2					
MK	LIITTYÄ	NRO	R15/27157	KHS	
1:10	KORVAA		r-12	YTLK	
1:20	KORVATTU	TASOKOORDINAATIOSTO:		HYV.	
1:50	ASEMAKAAVA	ETRS-GK25		TARK.	
1:100	LIIKENNES.	KORKEUSLÄRJÄSTELMÄ:		LAAT.	
		N2000		HYV.	
 <b>A-INSINÖÖRIT</b>		A-Insooort Suunnittelu Oy Satokunnankatu 23A 00210 Tampere Puh.0207 911 777 Fax.0207 911 778 aivonni.sukunimi@insinorit.fi		TARK.	
				LAAT.	
					Simo Nykänen

Tasokuva 1:100

H - H 1:20  
- Kannen reunapalkin rauditusC - C 1:20  
- Reunapalkin rauditus pohjoisella maatuella

BETONI:  
Sipimuuri Ro10, R1 C30/37-3, P30 c/nom = 45 mm  
Muotolluvalu Ro20, R1 C30/37-3, P30 c/nom = 40 mm  
Ruiskubetoni Ro21, R1 C30/37-3, P30 c/nom = 45 mm  
Reunapalkki Ro22, R1 C35/45-3, P50 c/nom = 45 mm  
Reunapalkin geeli-impregnointi

BETONITERÄS: A500HW

Betonipintojen laatu luokat (by 40 mukaisesti),

paikalla valetut pinnat:

- AA Reunapalkin yläpinta ja eristettävät pinnat (PHI)
- A Näkyviin jäävät pinnat (MUO JA MUK)
- C Näkymättömiin jäävät pinnat (MUO JA MUK)

Suorat ja terävät nurkat viistetään 20x20mm kolmiorimalla

PINTARAKENNE, AJORATA:

- Asfalttibetoni AB 16/120 50 mm
- Asfalttibetoni AB 16 250...470 mm
- Suojakerros AA 5/50 20 mm
- Pintakermi (kl.1) 5 mm
- Aluskermi (kl.1) 5 mm
- Epokstiivistys Yhteensä 330...550 mm

PINTARAKENNE, KEVYEN LIIKENTEEN VÄYLÄ:

- Asfalttibetoni AB 11/100 40 mm
- Asfalttibetoni AB 16 100...125 mm
- Suojakerros AA 5/50 20 mm
- Pintakermi (kl.1) 5 mm
- Aluskermi (kl.1) 5 mm
- Epokstiivistys Yhteensä 170...195 mm

KAIDE: CE-merkitty (EN 1317-2) törmäysluokan H2 teräksinen verkkokaide, joka täyttää Siltojen kaiteet-ohjeen (LO 25/2012) vaatimukset. Suunnitelma on täydennettävä toimitettavan kaiteen valmistajan vaatimusten mukaiseksi ennen sillan rakentamista. Kaide varustetaan korkealla suojaverkolla, kiipeilyesteellä ja hattumuttereilla.

Kermieristysten käyttöluokka 1

Sillanrakennustöissä noudatettava InfraRYL:n ja SILKO:n mukaisia laatuvaatimuksia

KORKEUSJÄRJESTELMÄ: N2000

KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ: ETRS-GK25

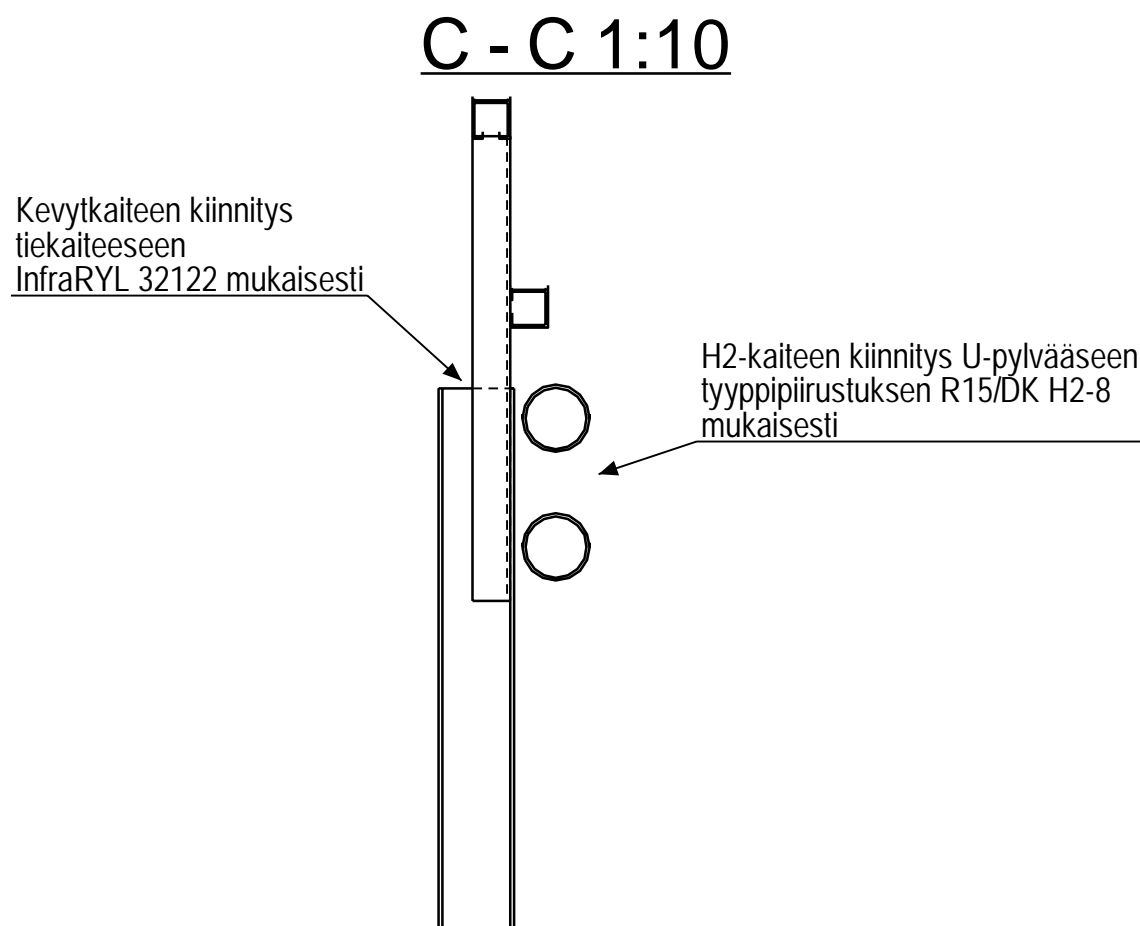
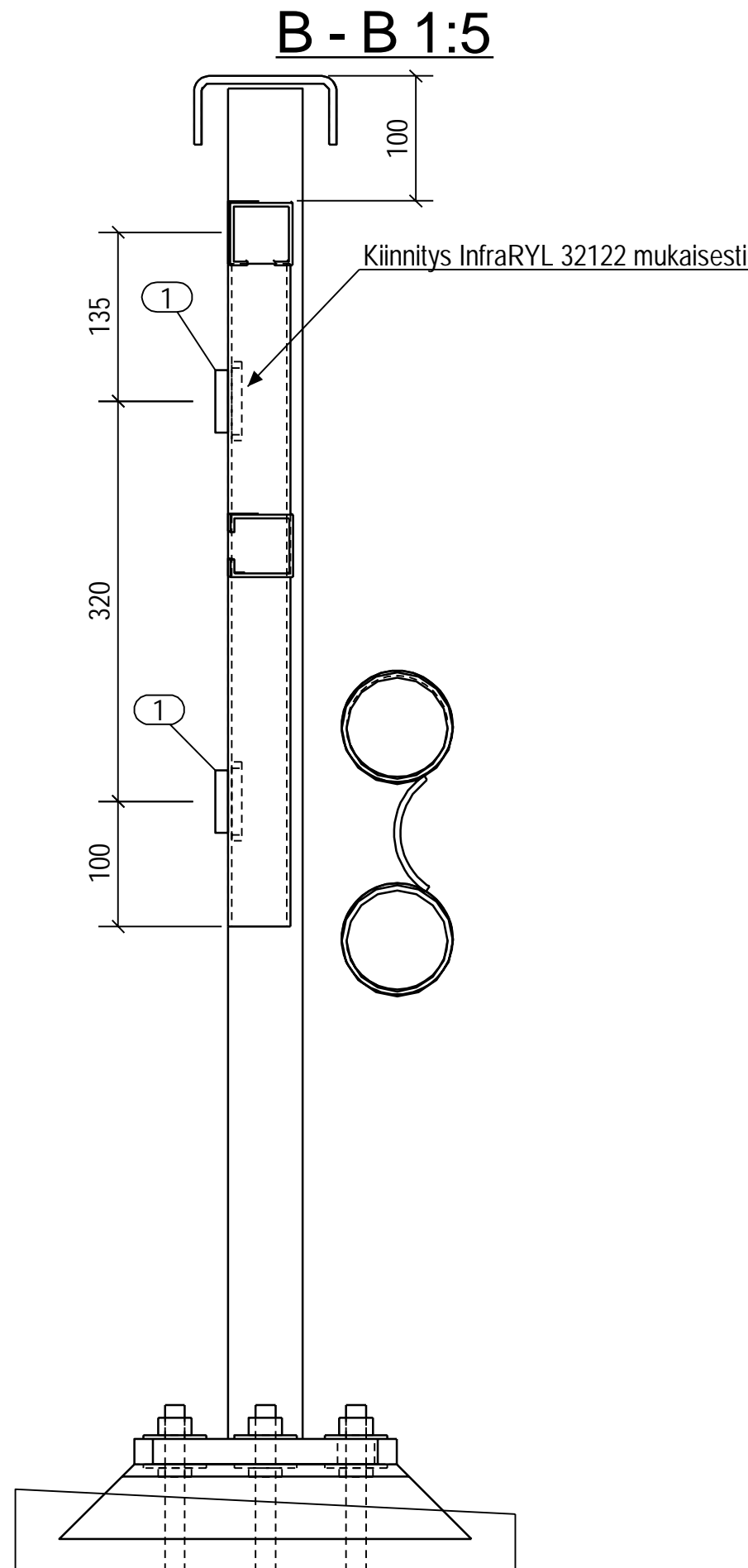
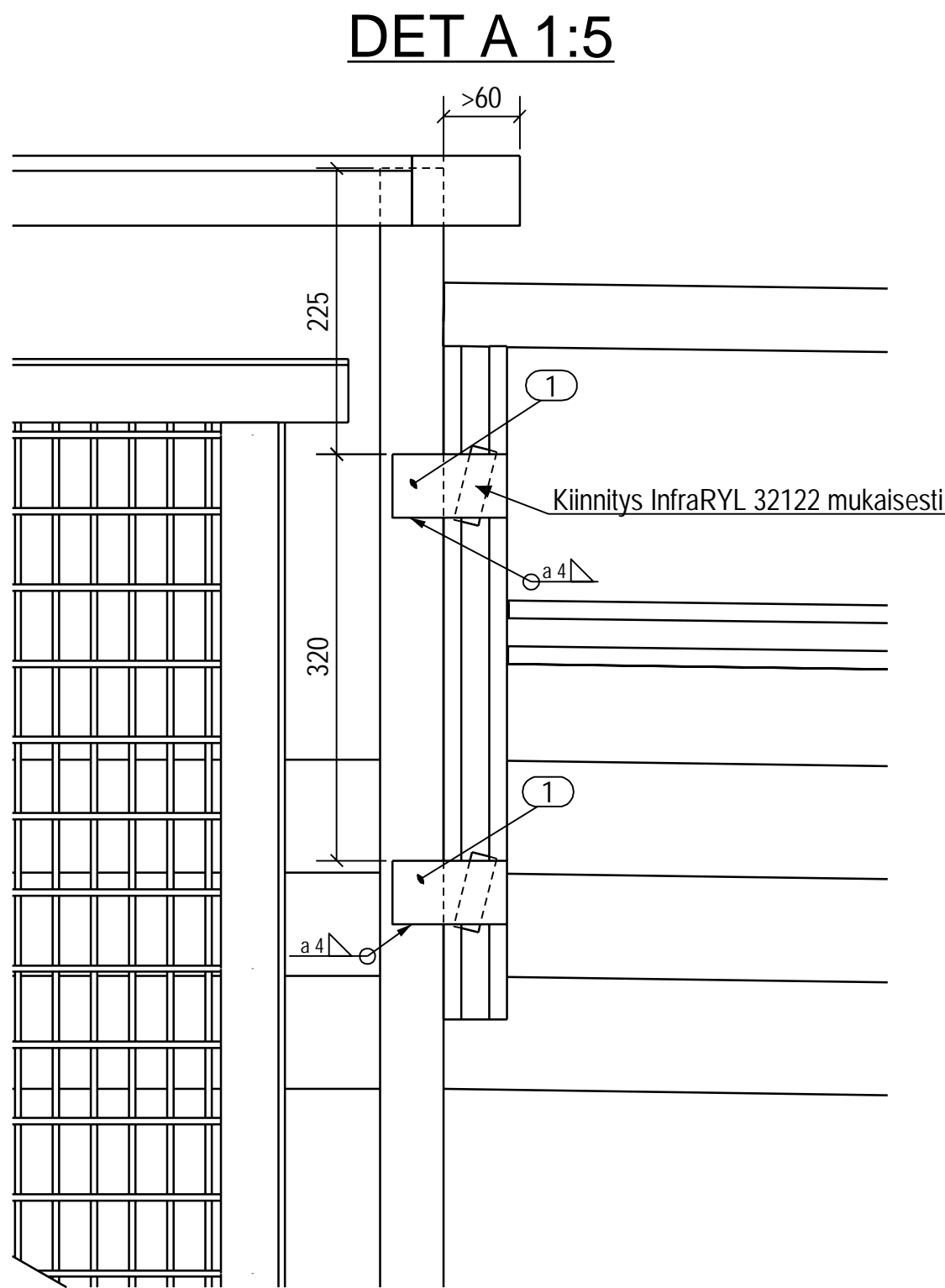
KAUP OSA, OSA-ALUE  
202 Munkkiniemi, Vanha Munkkiniemi

U-1367 PACIUKSENKADUN SILTA  
Teräsbetoninen laattasilta

Korjauspiirustus 3

MK 1:20 1:100	LIITTYV	NRO	R15/27157	KHS	
	KORVAA		r-13	YTLK	
	KORVATTU		TASOKOORDINAATISTO:	HYV.	
	ASEMAKAAVA		ETRS-GK25	TARK.	
	LIIKENNES.		KORKEUSJÄRJESTELMÄ:	LAAT.	
			N2000	HYV.	
	A-Insoinöörit Suomalainen Oy Satakunnankatu 23A 33210 Tampere Puh.0037 911 777 Fak.0037 911 778 www.a-insinööri.fi			TARK.	
				LAAT.	Simo Nykänen

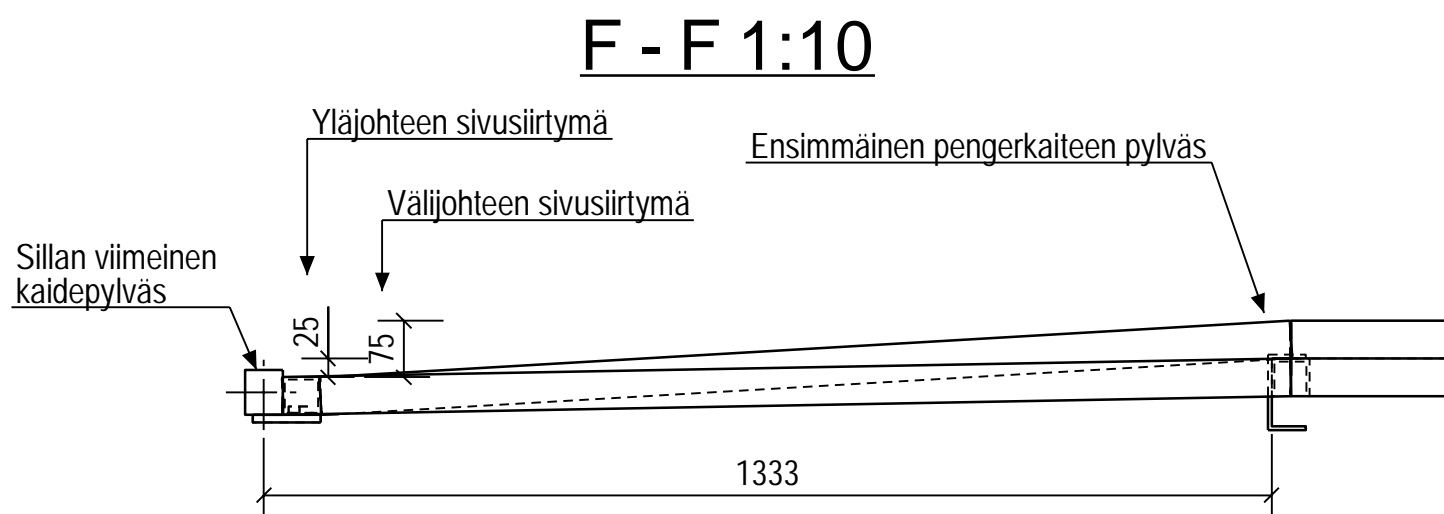
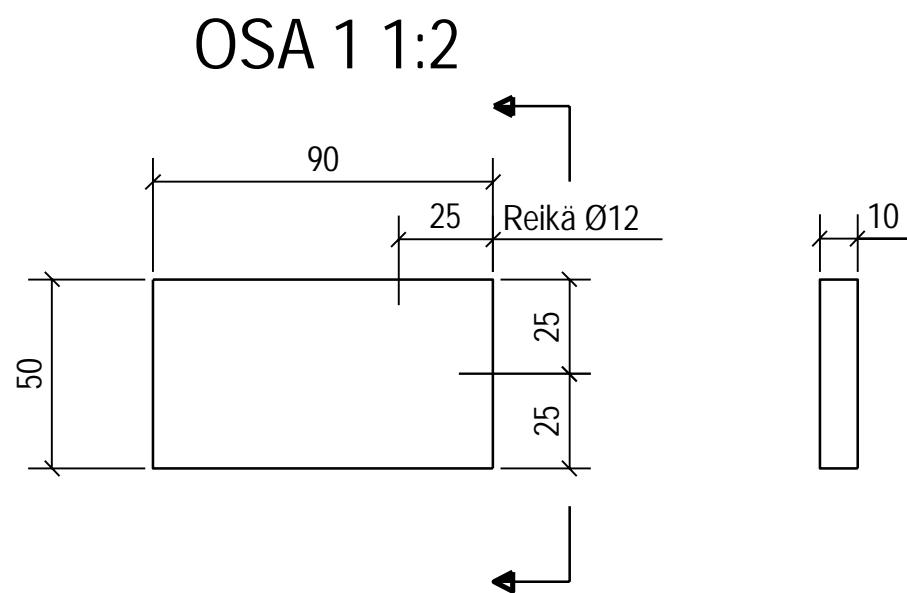




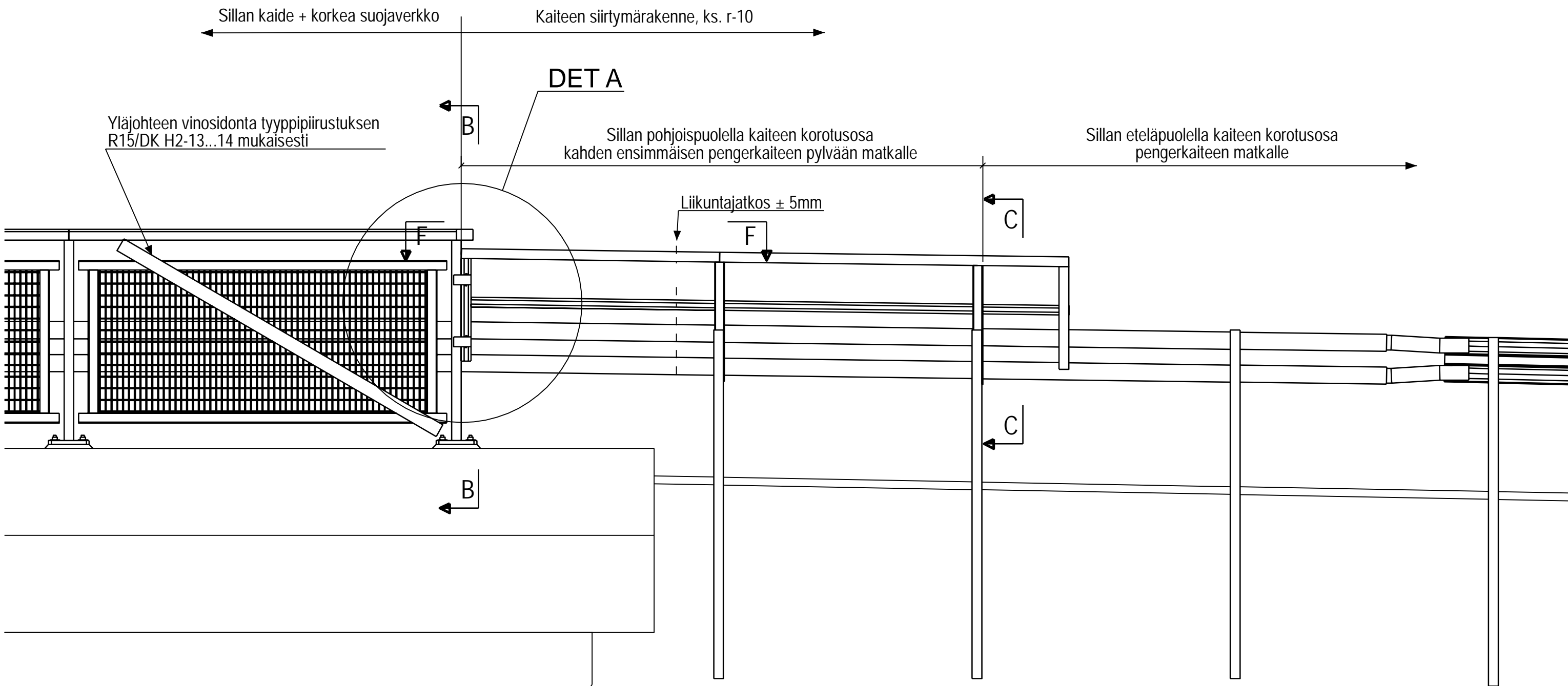
Osa 1 hitsataan kiinni sillan kaidepylvääseen ennen kaidepylvään kuumasinkitystä

Hitsiluokka C SFS-EN 25617  
Kuumasinkitys SFS-EN ISO 1461

Rakenneteräs S 355 J2



## Tie- ja sillankaiteen liitos sillan päissä 1:20





HELSINGIN KAUPUNKI  
RAKENNUSVIRASTO

KAUP.OSA, OSA-ALUE  
202 Munkkiniemi, Vanha Munkkiniemi

Katu- ja puisto-osasto  
PL 1515, Kasarmikatu 21  
00099 HELSINGIN KAUPUNKI

p.(09) 310 1861 f.(09) 310 38328  
www.hkr.hel.fi  
s-posti: etunimi.sukunimi@hel.fi

U-1367 PACIUKSENKADUN SILTA  
Teräsbetoninen laattasilta

Korjauspiirustus 4

MK: 1:2 1:5 1:10 1:20	LIITTYY	NRO R15/27157 r-14 TASOKOORDINAATISTO: ETRS-GK25 KORKEUSJÄRJESTELMÄ: N2000	KHS		
	KORVAA		YTLK		
	KORVATTU		HYV.		
	ASEMAKAAVA		TARK.		
	LIIKENNES.		LAAT.		
<div><div><div>A-INSINÖÖRIT</div></div><div>A-Insinöörit Suunnittelu Oy Satakunnankatu 23A 33210 Tampere Puh.0207 911 777 Fax.0207 911 778 etunimi.sukunimi@ains.fi</div></div>			HYV.		
			TARK.		
			LAAT.		Simo Nykänen